

Lauri Jeskanen

Höyrylämmönsiirrinmoduulit

Levylämmönsiirtimien rakenne ja toiminta sekä ohjaustavat ja instrumentointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Koneautomaatio

Insinöörityö

25.5.2017

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Lauri Jeskanen Höyrylämmönsiirrinmoduulit: Levylämmönsiirtimien rakenne ja toiminta sekä ohjaustavat ja instrumentointi</p> <p>54 sivua + 3 liitettä 25.5.2017</p>
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	<p>Länsi-Suomen aluemyyntipäällikkö Jussi Blom Myyntipäällikkö Kaj Bergström Lehtori Heikki Paavilainen</p>
<p>Insinööri työ suoritettiin Helsingissä toimivalle Oy Konwell Ab:lle. Aiheena oli höyrylämmönsiirrinmoduuleiden suunnittelu, rakennus ja tuotteistaminen. Työn ohessa käytettiin hyväksi meneillään olevaa asiakasprojektia koneikkoon asennettujen, instrumentoitujen levylämmönsiirtimien toimituksesta rakennus- ja käyttövesilämmitykseen.</p> <p>Työn tavoitteena oli tutustua erilaisiin rakenneratkaisuihin sekä jatkossa nopeuttaa yksiköiden laitesuunnittelua ja mitoitus työtä. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta valmistaa lämmönsiirtimien tehoon perustuvia, valmiiksi instrumentoituja varastotuotteita.</p> <p>Teoriaosuudessa käydään läpi lämmönsiirtimien rakennetta, lämmönsiirtotapahtumaan liittyviä fyysisiä ilmiöitä sekä moduulin komponenttien mitoitus.</p> <p>Suunnittelu- ja rakennusosuudessa mitoitetaan moduulin pääkomponentit ja käydään läpi erilaisten instrumenttien toimintaa ja käyttötarkoitusta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin mitoitus lämmönsiirtimelle, säätöventtiilille ja lauhteenpoistimelle. Tehtiin perusmallin PI-kaavio ja laitelista, sekä hinnoiteltiin suunniteltu yksikkö. Jatkossa PI-kaaviota tullaan käyttämään suunnittelun lähtökohtana niin, että oheen voidaan liittää lisämoduuleita asiakkaan tarpeiden mukaisesti.</p>	
Avainsanat	Levylämmönsiirrin, höyrysäätöventtiilin mitoitus, höyryjärjestelmän komponentit, lauhteenpoisto, lauhteenosto

Author Title	Lauri Jeskanen Steam heat exchanger modules: Design, operation, control methods and instrumentation of plate heat exchangers
Number of Pages Date	54 pages + 3 appendices 25 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Automation Engineering
Instructors	Jussi Blom, Regional Manager, Western Finland Kaj Bergström, Sales Manager Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
<p>The Bachelor's thesis was commissioned by Oy Konwell Ab located in Helsinki, Finland. The objective of the study was to carry out the design, construction and productization process of steam heat exchanger modules. During the thesis, an ongoing customer project was utilized in which frame-installed, instrumented "ready-to-use" heat exchanger modules for building and hot water heating were delivered to the client.</p> <p>The goal of the thesis was to get acquainted with various structural solutions and to speed up the unit design and dimensioning work in the future. In addition, the possibility of manufacturing pre-instrumented warehouse products based on heat transfer power was studied.</p> <p>The theoretical part of the thesis examines the structure of heat exchangers, the physical phenomena associated with the heat transfer process and the dimensioning of the module components.</p> <p>In the designing and manufacturing section of the thesis, the main components of the module are dimensioned, and the operation and purpose of various instruments are explained as well.</p> <p>As a result, the dimensions of the heat exchanger, control valve and steam trap were obtained. A PI diagram and a device list were made on the basic model, and the planned unit was priced. In the future, the PI diagram will be used as a starting point for design so that additional modules can be attached according to the customer's needs.</p>	
Keywords	Plate and shell heat exchanger, steam control valve dimensioning, steam system components, steam trapping, condensate lifting

Sisällys

Termit	
1 Johdanto	1
2 Oy Konwell Ab	1
3 Vahterus Oy	2
4 Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate	2
4.1 Lämmönsiirtimen kytkentätavat	3
4.2 Tiivisteellinen levylämmönsiirrin	5
4.3 Juotettu levylämmönsiirrin	6
4.4 Puolihitsattu levylämmönsiirrin	7
4.5 Hitsattu levylämmönsiirrin	9
4.6 Lämmönsiirrinlevyjen materiaali ja muoto	11
4.7 Levylämmönsiirtimen mitoitus ja suunnittelu	12
4.8 Hörylämmönsiirtimen lauhdemäärän laskeminen	13
5 Hörylämmönsiirtimen säätötavat	14
5.1 Hörypuolen säätöpiiri	14
5.2 Lauhdepuolen säätöpiiri	16
5.3 Toisiopuolen säätöpiiri	17
5.4 Omavoimainen säätöpiiri	18
5.5 Toimilaitteellinen säätöventtiili	20
5.6 Säätöventtiilin mitoitus	21
5.7 Höryputken mitoitus	23
6 Levylämmönsiirtimen lauhteenpoisto	24
6.1 Lauhteenpoiston teoriaa	24
6.1.1 Eropaine	24
6.1.2 Sakkaaminen	25
6.1.3 Vesi-iskut	26

6.2	Lauhteenpoistotavat	28
6.2.1	Uimurilauhteenpoistin	28
6.2.2	Termostaattinen lauhteenpoistin	30
6.2.3	Käynnistysvesitysventtiili	31
6.2.4	Lauhteennostin	32
6.2.5	Lauhteennostimen toimintakuvaus	35
6.3	Lauhteenpoistolinjan mitoitus	35
7	Lämmönsiirrinmoduulin rakentaminen	37
7.1	Asiakasprojektin mitoitusarvot	39
7.1.1	Höyryputken koko	40
7.1.2	Lauhdeputken koko	41
7.2	Perusmallin höyrylämmönsiirrinmoduulin PI-kaavio, osalista ja hinnoittelu	42
7.3	Perusmallin höyrylämmönsiirtimen toimintakuvaus	44
7.4	Koneikko	45
7.5	Instrumentointi	46
7.5.1	Sulkuventtiili	46
7.5.2	Takaiskuventtiili	47
7.5.3	Lianerotin	48
7.5.4	Pisaranerotin	49
7.5.5	Näkölasi	50
8	Päätelmät	51
	Lähteet	53
	Liitteet	
	Liite 1. Asiakasprojektin lämmönsiirrinmoduulin 3D-malli	
	Liite 2. Vahterus levylämmönsiirtimen mitoituslehti	
	Liite 3. Säästöventtiilin mitoituslehti Ari MyValve ohjelmasta	

Termit

Eropaine (Δp)	Paine-ero mitattuna tarkasteltavan kohteen sisään- ja ulostuloyhteistä.
KV-arvo	Putkiston tai venttiilin virtauskerroin, jonka laskemisessa on huomioitu väliaineen tiheys, lämpötila ja paine-ero.
KVS-arvo	Venttiilin läpäisykyky venttiilin ollessa täysin auki asennossa. Suhteessa KV-arvoon.
DN	Standardin mukainen nimelliskoko millimetreissä.
PN	Standardin mukainen nimellispainekestävyys barissa.
Patoaminen	Kuristavuudesta aiheutuva väliaineen kerääntyminen laitteen eteen.
NBR	Nitriilikumi (Nitrile Butadiene Rubber).
EPDM	Eteeni–propeeni–dieenikumi (Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber).
FPM	Fluorikumi. Tunnetaan myös nimillä FKM ja Viton.
Entalpia (H)	Energiaa ilmaiseva suure. Tunnetaan myös nimellä lämpösisältö.
Faasi	Aineen olomuotoalue. Esimerkiksi veden eri faasimuotoja ovat jää, neste ja höyry.
Epä-/kriittinen virtaus	Frouden lukuun (Fr), eli aineen virtaustyyppiin ja -häiriöihin liittyvä fyysinen ilmiö.
Lämmönsiirtimen ensiöpuoli	Lämmönsiirtimen lämmittävän väliaineen piiri (höyrypuoli).
Lämmönsiirtimen toisiopuoli	Lämmönsiirtimen lämmitettävän väliaineen piiri (tässä työssä lämmin-/kuumavesipuoli).

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe etsittiin useamman vuoden työsuhteen jälkeen yhdessä Oy Konwell Ab:n kanssa. Aiheeksi valittiin levylämmönsiirrinmoduulien, eli valmiiksi käyttöä varten varusteltujen lämmönsiirrinyksiköiden tuotteistaminen. Toimitusaikojen lyhentämistä ajatellen tutkittiin myös mahdollisuutta rakentaa nk. varastomalleja.

Työn suorituksen ohessa käytettiin hyväksi meneillään olevaa asiakasprojektia, johon kuului levylämmönsiirrinmoduulin mitoitus, komponenttien valinta sekä koneikon suunnittelu ja rakentaminen asiakkaan antamien lähtötietojen perusteella. Työn aikana tutustuttiin myös höyry- ja lauhdeprosessitekniikkaan sekä -laitteisiin. Työn ulkopuolelle rajattiin esitemateriaalin tekeminen myyntiä varten, valmiiden 3D-mallien kokoaminen ja näyttelytarkoitukseen tehtävän halkaistun prototyyppiyksikön kokoonpano.

Moduulin lämmönsiirtimen toimittajaksi valittiin suomalainen Vahterus Oy, joka on laadukkaista siirtimistään tunnettu toimittaja ympäri maailmaa. Muut moduulin komponentit valittiin Konwellin olemassa olevien sopimustoimittajien, kuten Gestra AG:n, Ari Armaturen GmbH & Co. KG:n ja Alfa Valvole Srl:n valikoimista. Asiakasprojektikehikon rakentamisesta, moduulin kokoonpanotyöstä ja tarvittavista tarkastuksista huolehti Steel Master Finland Oy.

2 Oy Konwell Ab

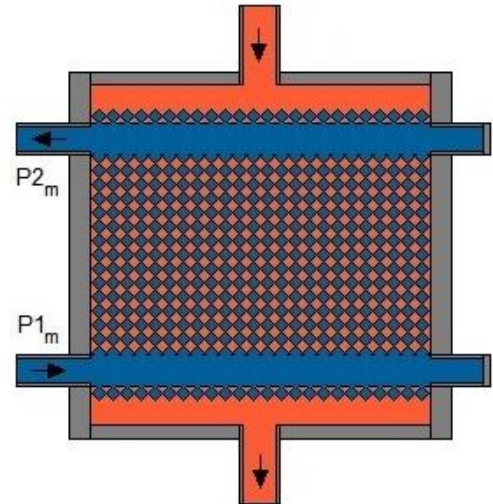
Oy Konwell Ab on vuonna 1982 perustettu suomalainen perheyritys, jonka päätoimipiste ja varasto sijaitsevat Helsingin Konalassa. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2016 n. 13,2 milj. euroa, ja se työllistää yhteensä 34 henkilöä. (Kauppalehti, yrityshaku, 2017). Höyry- ja prosessiventtiileistä, lauhteenpoistimista ja varaosista koostuva Etelä-Suomen varasto on Suomen suurimpia, varastoarvon yltäessä n. 2,2 milj. euroon. Konwell on perustamisestaan lähtien toiminut teollisuusventtiileiden, höyry- ja lauhdejärjestelmien sekä automaatiolaitteiden maahantuojana ja jälleenmyyjänä yrityksille ympäri Suomea. Yritys tarjoaa asiakkailleen myös höyry- ja lauhdeprosessin suunnittelu-, konsultaatio-, laitteiden mittaus- ja kunnontarkkailu- sekä kunnossapitopalveluita. Yhtiön sivukonttorit sijaitsevat Nokialla ja Kouvolassa, sekä sisaryritys Tallinnassa, Virossa.

3 Vahterus Oy

Vahterus Oy on vuonna 1990 perustettu lämmönsiirtimien suunnitteluun, tuotantoon ja myyntiin erikoistunut yritys, joka sijaitsee Turun luoteispuolella Vakkasuomen Kalanissa. Vahteruksen vuosien työ lämmönsiirrintekniikan kehityksessä on johtanut useisiin patentteihin ja tuonut yritykselle myös lukuisia kansainvälisiä palkintoja innovatiivisuudesta ja ympäristöystävällisyydestä. Lämmönsiirrinteknologia perustuu täysin hitsattuun pyöreään levyrakenteeseen. Peruskivenä toimii yrityksen luja lämpötekniinen tietopohja yhdistettynä tiiviiseen yhteistyöhön tutkimuslaitosten ja yliopistojen kanssa. Yritys toimii globaalisti laajan jälleenmyyjäverkoston kautta ja on ISO 9001 sekä 14001 -sertifioitu.

4 Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate

Lämmönsiirtimen sisällä on kaksi toisistaan erotettua tilaa, joihin prosessin väliaineet ohjataan. Höyrysiirtimissä prosessihöyry ohjataan tavallisesti siirtimen ensiöpuolelle, jota kutsutaan myös kuori- tai vaippapuoleksi. Prosessihöyry virtaa lämmönsiirtimeen hitsatun höyryn sisääntulolaipan kautta. Höyry etenee muotoon prässäytyjen, hitsattujen siirrinelementtien sisälle muodostettuihin kanaviin. Tällöin kosketuspinta-alasta muodostuu mahdollisimman suuri. Höyry lämmittää siirrinelementtien pintaa lauhtuen takaisin vedeksi, minkä jälkeen se valuu siirtimen alaosassa sijaitsevalle lämmityshöyryn ulostulolaipalle. Näistä laipoista siirrin liitetään osaksi laitoksen höyry- ja lauhdejärjestelmää. Lämminvesi ohjataan toisiopuolelle lämmönsiirrinlevyjen sisälle, jossa se kiertää virtauskanavien läpi ulostulolaippaa kohti kuvan 1 havainnollistamalla tavalla, absorboiden samalla itseensä lämpöä levyelementtien pinnalta. Nämä laipat liitetään osaksi lämmitettävän, taikka vaihtoehtoisesti jäähdytettävän järjestelmän kiertoa.



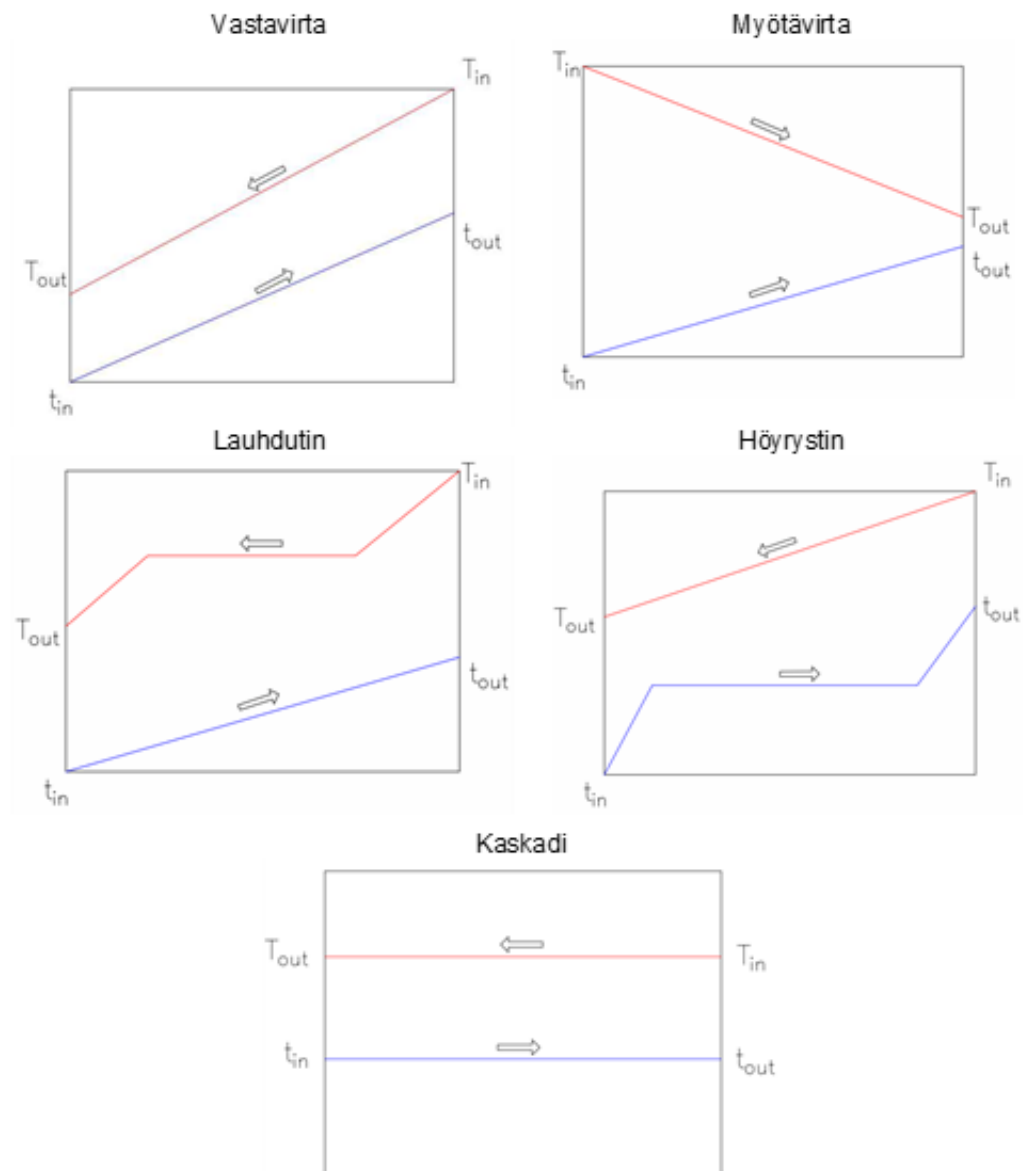
Kuva 1: Vahterus PSHE-lämmönsiirtimen hitsattu levypakka (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 15) ja väliaineiden kiertoperiaate levypakan sisällä

4.1 Lämmönsiirtimen kytkentätavat

Lämmönsiirrin voidaan liittää järjestelmään kuvassa 2 esitetyin erilaisin kytkennöin, joita ovat vastavirtakytkentä, myötävirtakytkentä, lauhdutin, höyrystin ja kaskadikytkentä. Eri kytkentätavoilla kuvataan väliaineiden lämpötilaeroa siirtimen sisällä ja johtumisen tehokkuutta. Myötävirtakytkennässä esimerkiksi tulopuolen lämminvesi ja kuuma höyry kohtaavat heti siirtimen sisälle virratessaan, mikä näkyy suurena lämpötilaerona kuviossa. Vastavirtakytkennässä lämminvesi on kiertänyt siirrinelementin ja kohtaa sisään tulevan prosessihöyryn vasta juuri ennen poistumistaan lämmönsiirtimestä. Näin myös lämpötilaerot siirtimen sisällä ovat pienemmät ja lämmönsiirtyminen tehokkaampaa.

Höyrystin- ja lauhdutinkytkennöissä lämmönsiirtimen sisällä tapahtuu väliaineen faasimuutos. Faasimuutoksen aikana siirtimeen tullut neste joko höyrystyy, taikka höyry lauhdetaan takaisin nesteeksi. Faasimuutos näkyy tasaisena lämpötilaosuutena kuviossa.

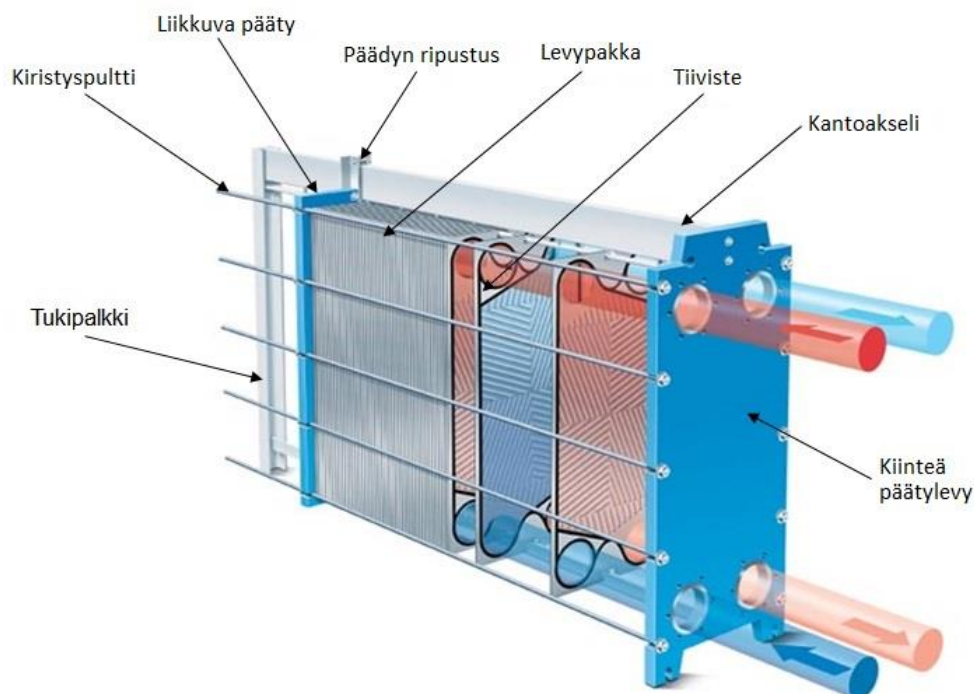
Kaskadikytkennässä kummankin väliaineen faasimuutos tapahtuu samanaikaisesti, eli sisään tuleva lämmityshöyry lauhdetaan nesteeksi ja sisään tuleva neste höyrystyy, jolloin siirtimen lämpötila pysyy vakiona. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 5)



Kuva 2: Lämmönsiirtimen kytkentätavat prosessiin (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 5)

4.2 Tiivisteellinen levylämmönsiirrin

Tiivisteellisessä levylämmönsiirtimessä jokaisen lämmönsiirrinlevyn reunoilla kiertää tiiviste, jonka tehtävänä on eristää väliaine ulkoilmasta ja toisen puolen prosessiväliaineesta. Levyt puristetaan siirtimen rungon päätylevyjen väliin tyypillisesti pinnapultein. Kuvassa 3 on havainnollistettu virtausta lämmönsiirtimen sisällä: joka toisessa levyvälissä kiertää lämmitettävä ja joka toisessa lämmittävä väliaine. Siirrin on asennettu vastavirtakytkennällä, jolloin sisäiset lämpötilaerot on minimoitu. Siirrinlevyt ovat identtisiä, virtausta levyvälisiin ohjataan tiivisteiden avulla, mikä on joka toisessa levyvälissä eri päin. Tiivisteellisen levylämmönsiirtimen hyviin puoliin lukeutuu sen muokattavuus, puhdistettavuus sekä edullinen hankintahinta. Lämmönsiirtotarpeen muuttuessa levyjen määrää voidaan joko lisätä tai vähentää. Jokaisen levyn lämmönsiirtopintaan päästään purettaessa käsiksi, joten ne ovat on mekaanisesti puhdistettavissa. Rakenteen huonona puolena on mahdolliset vuodot tiivistepintojen ohi, mikä lisää kunnossapitokustannuksia sekä riskiä prosessin pysähtymiselle. Yleisimmät tiivistemateriaalit ovat NBR, EPDM sekä Viton, jotka rajoittavat tämän tyyppisten lämmönsiirtimien käytettävyyttä maksimiarvojen ollessa luokkaa n. 160 °C ja 16 bar. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 10-11)



Kuva 3: Tranterin valmistama tiivisteellinen levylämmönsiirrin (Tranter International lämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2009, dia 12)

4.3 Juotettu levylämmönsiirrin

Juotetun levylämmönsiirtimen levymateriaalina käytetään tavallisesti ruostumatonta terästä. Levyt juotetaan toisiinsa ns. levypakaksi alipaineuunissa, jossa lämpötila nostetaan yli käytettävän juotinmateriaalin juotoslämpötilan. (Kuva 4).



Kuva 4: Kuparilla juotettu ruostumattomasta teräksestä valmistettu siirrinlevypakka (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 12)

Saatavana olevia juotosmateriaaleja ovat kupari, ruostumaton teräs, nikkeli ja hopea. Juotettua mallia käytetään tavallisesti nesteille, kummallakin puolella levyä. Rakenteeltaan siirrin on kevyt ja edullinen, vaikka juotosprosessi kestää tyypillisesti noin 8 tuntia. Tyypillinen käyttökohde ovat neste–neste -sovellukset. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 12)

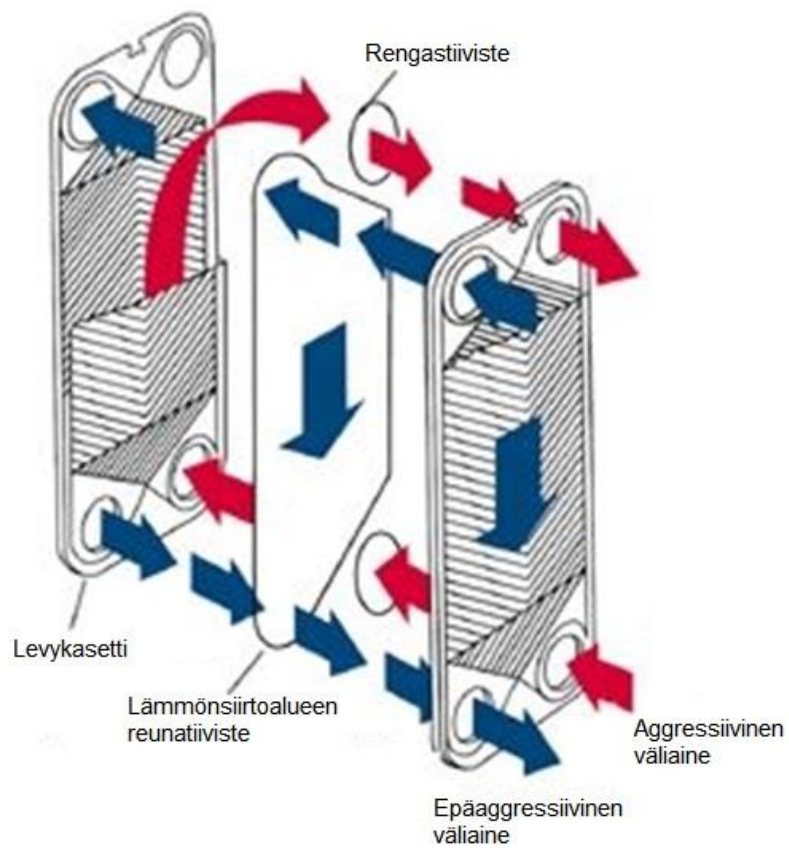
4.4 Puolihitsattu levylämmönsiirrin

Puolihitsatulla rakenteella tarkoitetaan yhteenhitsattuja levypareja, ns. levykasetteja, joiden välille asetetaan tiiviste ja lopuksi kasetit puristetaan yhteen samaan tapaan kuin tiivisteellisessä lämmönsiirtimessä (kuva 5).



Kuva 5: Puolihitsatun lämmönsiirrinlevyn rakenne (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 13)

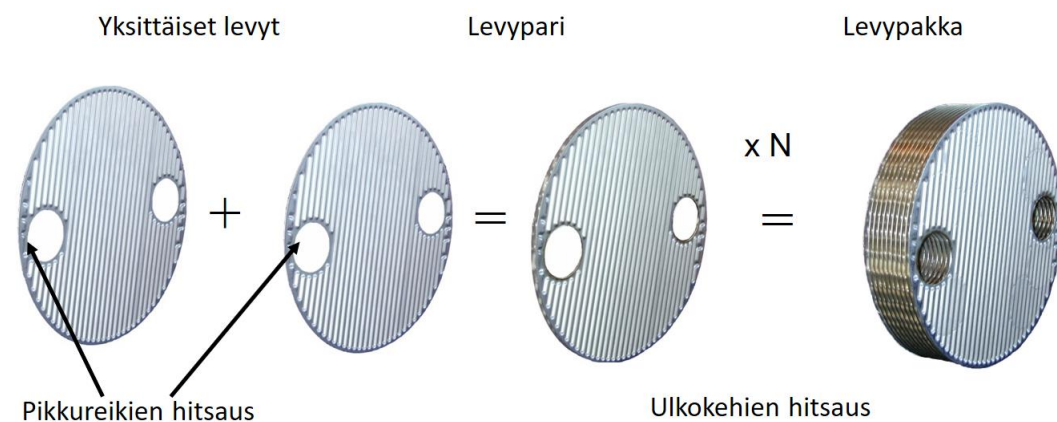
Rakenne mahdollistaa levykasettien lisäämisen tai poistamisen jälkikäteen, mikäli lämmönsiirtotarpeessa tapahtuu muutoksia. Puolihitsattu siirrin soveltuu erityisen hyvin käytettäväksi kohteissa, joissa siirtimessä kiertää kaksi kemiallisilta ominaisuuksiltaan hyvin erityyppistä väliainetta. Aggressiivisempi väliaine ohjataan hitsattuun levyväliin ja helpompi tiivisteelliselle puolelle (kuva 6). Levymateriaalina käytetään tavallisesti ruostumattonta terästä, ja saatavia tiivistemateriaaleina ovat EPDM, NBR, Viton sekä valmistajien omat kumiseokset. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 13)



Kuva 6:Väliaineen kiertoperiaate puolihitsatussa levylämmönsiirtimessä (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 13)

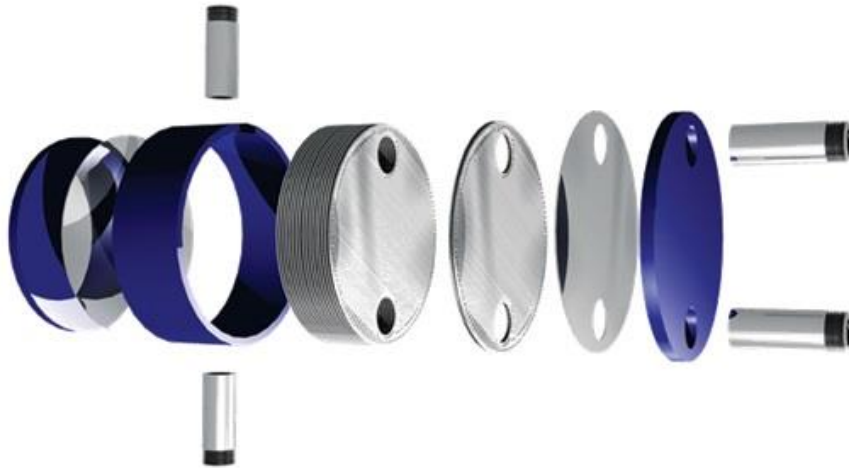
4.5 Hitsattu levylämmönsiirrin

Hitsattu levylämmönsiirrin soveltuu käytettäväksi myös korkeissa, satojen barien paineissa, sekä erityisen alhaisissa että korkeissa lämpötiloissa välillä $-240\text{ °C} \dots +900\text{ °C}$. Väliaineena voidaan käyttää nesteitä ja kaasuja sekä näiden yhdistelmiä, sillä rakenne on kaasutiivis. Täysin hitsatussa rakenteessa erilliset levyt hitsataan aluksi pikkureikien ympäriltä levypareiksi, minkä jälkeen levyparit hitsataan ulkoreunoilta yhteen levypakaksi niin, että lopputuloksena joka toinen levyväli on yhteydessä pikkureikiin, ja joka toinen siirtimen vaippaan (kuva 7). Hitsaus suoritetaan tavallisesti TIG- tai laserhitsauksella.



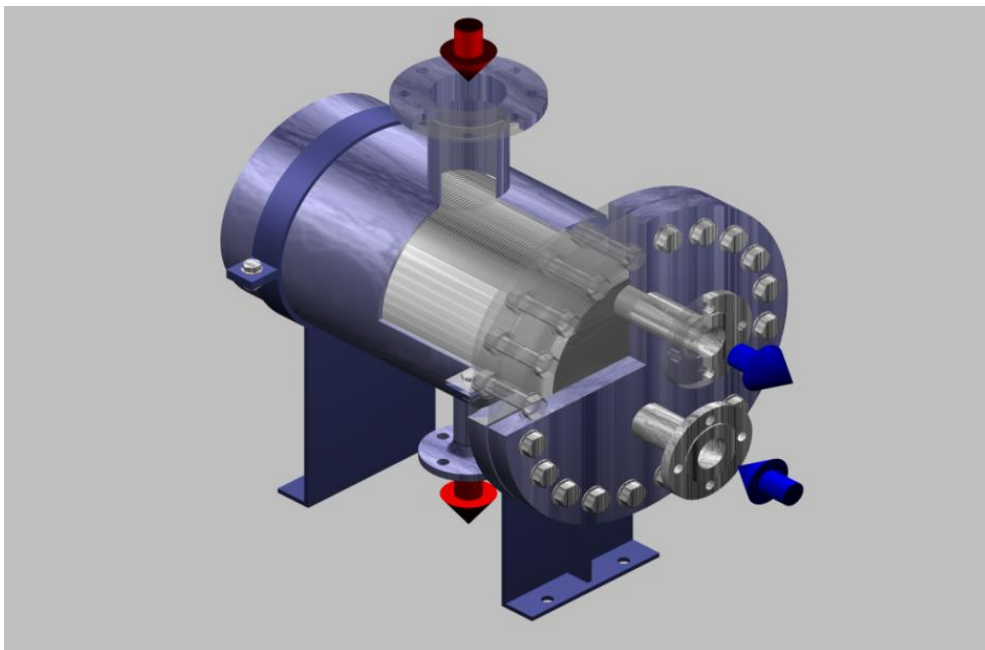
Kuva 7: Hitsatun levypakan valmistus (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 15)

Tämän jälkeen päätylevyt sekä yhteet hitsataan kiinni levypakkaan, jolloin muodostuu kaasutiivis rakenne. Syntynyt paketti asennetaan vaippaan, eli siirtimen kuoreen, minkä jälkeen vaipan päädyt hitsataan muodostaen täysin suljetun rakenteen (kuva 8).



Kuva 8: Rakenteeltaan tyypillinen hitsattu pyöreälevyinen levylämmönsiirrin (Tranter International levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2009, dia 43)

Vahterus PSHE -levylämmönsiirtimiä on mahdollista saada myös pultattavalla päätyrakenteella (kuva 9), jolloin siirrinlevyjen vaipanpuoleinen lämmönsiirtopinta on mahdollista puhdistaa. Hitsatuissa levylämmönsiirtimissä lämmittävä väliaine ohjataan tavallisesti vaippapuolelle siirrintä ja lämmitettävä väliaine levypuolelle. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 14)



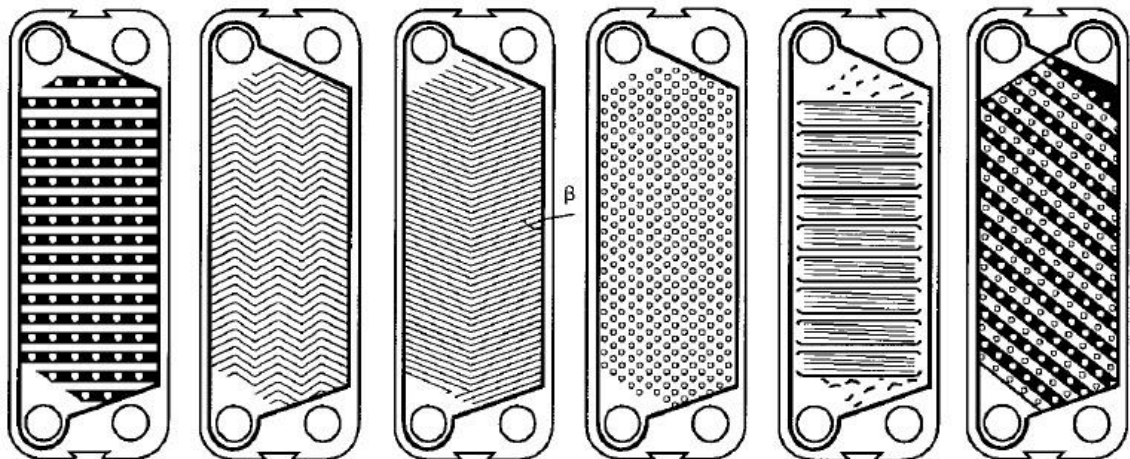
Kuva 9: Vahteruksen hitsattu levylämmönsiirrin. Punaiset viivat kuvaavat lämmittävän väliaineen virtausta lämmönsiirtimen vaippaan. Sinisillä nuolilla on kuvattu lämmitettävän väliaineen virtaus siirrinlevyjen sisällä. Kyseisen vaihdinmallin kuori on avattavissa levyjen puhdistusta / tarkistusta varten. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 14)

4.6 Lämmönsiirrinlevyjen materiaali ja muoto

Lämmönsiirrinlevyt valmistetaan ruostumattomasta, lämpöä hyvin johtavasta materiaalista. Materiaalivalinnalla pyritään estämään levyjen lämmönsiirto-ominaisuuksien huononeminen levyjen likaantuessa tai mahdollisen korroosion vaikutuksesta. Saatavana olevia ja yleisesti käytettyjä levymateriaaleja ovat mm. ruostumaton teräs 304/304L ja 316/316L, Duplex, Hastelloy sekä titaani.

Yleisin levymalli on suorakaiteen muotoinen, sen kulmissa on neljä reikää väliaineiden virtaukselle levyväleihin. Suorakaiteen muotoista levyä käytettäessä ei tarvita erillistä vaippaa, kuten pyöreän levyn tapauksessa, jossa toinen virtauskanavista on yhteydessä siirtimen vaippaan.

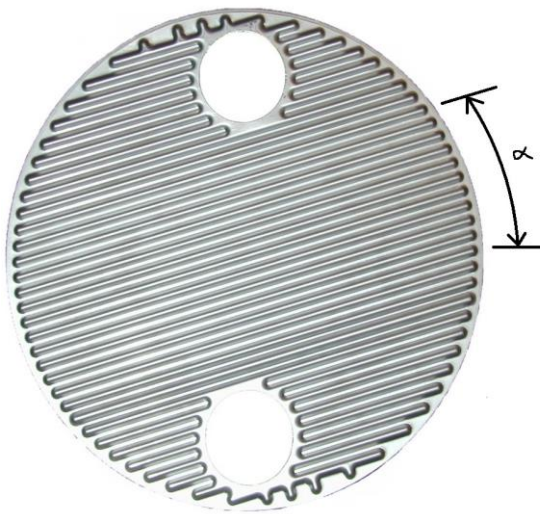
Lämmönsiirrinlevyt leikataan laserilla haluttuun muotoon ja kuvioidaan prässäämällä. Kuvioinnin tarkoituksena on pidentää väliaineen matkaa siirtimen läpi sekä aiheuttaa virtaukseen turbulenssia. Turbulenssin ansiosta virtaus sekoittuu edetessään siirtimessä, jolloin virtauksen sisäisiä lämpötilaeroja ei pääse tapahtumaan kuten laminaarisella virtauksella. Levykuviointi siis edesauttaa lämmönsiirtotapahtuman tehokkuutta ja pidentää vaikutusaikaa. Yleisesti käytettyjä kuviointeja on esitetty kuvassa 10. (Saviluoto, Lauri. 2014. Levylämmönsiirtimen levyparin välisen virtauksen ja lämmönsiirron kehittyminen sekä lämpötilan muutos. Insinöörityö. Metropolia AMK. s. 20)



Kuva 10: Tiivistellisiä levylämmönsiirrinkuvioita (Saviluoto, Lauri. 2014. Levylämmönsiirtimen levyparin välisen virtauksen ja lämmönsiirron kehittyminen sekä lämpötilan muutos. Insinöörityö. Metropolia AMK. s. 13)

Erityyppiset kuviot aiheuttavat erisuuruisia painehäviöitä siirtimessä sekä vaikuttavat siirtimen likaantumiseen. Tyypillisin käytetty kuviotyyppi on Chevron, eli kuvassa 10 vasemmalta laskien kolmas levy. Siirrinvalmistaja huolehtii kuviotyyppin valinnasta, ellei asiakas esitä erityistoivomuksia.

Pyöreän levyn tapauksessa käytetään suoria virtauskanavia. Levyn lämmönsiirtotehokkuutta voidaan parantaa ja painehäviötä kasvattaa kääntämällä levyä siirtimen sisällä, kuten kuvassa 11 on pyritty havainnollistamaan. (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 19)



Kuva 11: Pyöreän levyn virtauskanavien α -kulman pienentäminen nostaa siirtimen painehäviötä ja parantaa lämmönsiirtokerrointa (Vahterus levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali 2015, dia 19)

4.7 Levylämmönsiirtimen mitoitus ja suunnittelu

Siirrinvalmistaja tekee lämmönsiirtimen mitoituksen tavallisesti itse asiakkaan antamien prosessitietojen ja halutun lämpötehon perusteella. Vahteruksen siirtimet optimoidaan mitoitusohjelman avulla, johon syötetään väliainetiedot, lämpötilat, paineet ja virtausmäärä. Tämän jälkeen valitaan siirrintyyppi, jonka jälkeen voidaan testata erilaisia levyvymääriä ja siirrinkokoja sekä laskennallista painehäviötä siirtimen koon optimointia varten. Lopulta ohjelma tulostaa laskentasivun mittakuvineen, joka voidaan lähettää asiakkaalle tai koneikkosuunnittelijalle hyväksyttäväksi.

Liitteessä 3 on esitetty insinööriyön referenssivaihtimen mitoitusivu. Siirtimen valinnan jälkeen instrumenttisuunnittelija mitoittaa siirrinmoduuliin säätöventtiilin ja lauhteenpoistolaitteet, joita on käsitelty tarkemmin kappaleissa 7.6 ja 8.2.

4.8 Hörylämmönsiirtimen lauhdemäärän laskeminen

Uusissa moduuleissa lauhteenpoistokapasiteetti mitoitetaan siirrintoimittajan tekemän lämmönsiirtimen mitoitusivun ja siitä löytyvän vaaditun tuorehörymäärän perusteella. Mikäli mitoitusivu ei ole saatavana, esimerkiksi höyryjärjestelmää muokattaessa, syntynyt lauhdemäärä voidaan laskea Gestra AG:n internet-sivuilla, osoitteesta <http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html?calc=5> löytyvän CALCUquick -mitoitusohjelman avulla. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 91 - 93)

Lauhemäärän laskuesimerkki:

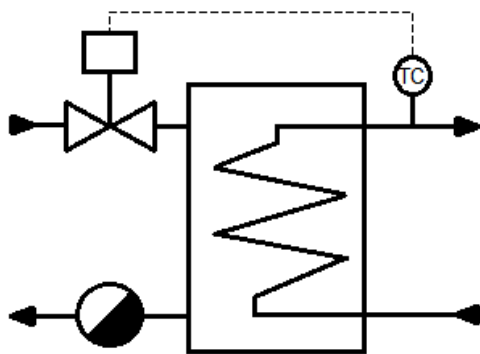
Käyttöveden lämmitys	$17,3 \frac{t}{h}$
Käyttöveden tulolämpötila lämmönsiirtimelle	$T_1 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Käyttöveden haluttu ulostulolämpötila lämmönsiirtimeltä	$T_2 = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Höyryn tulopaine	$p = 6 \text{ bar}(a)$
Veden ominaislämpökapasiteetti	$c_{vesi}(20 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{K*kg}}$

Lopputuloksena Gestra CALCUquick -mitoitusohjelmasta saadaan vaadituksi siirrintehoksi vähintään 600 kW ja syntyneeksi lauhdemääräksi n. 1050 kg/h.

5 Hörylämmönsiirtimen säätötavat

5.1 Hörypuolen säätöpiiri

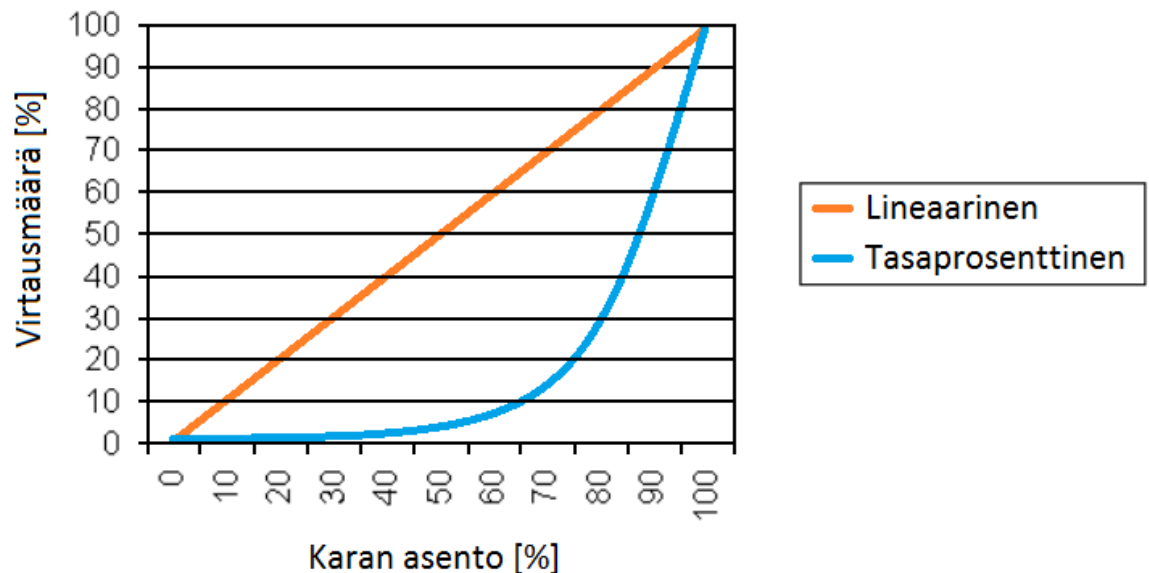
Hörypuolen säätöpiirillä tarkoitetaan tässä insinööriyössä lämmönsiirrintä lämmittävän väliaineen tulopuolelle asennettua säätöventtiiliä, jonka avulla kontrolloidaan sisään tulevan höyryn määrää. Säätöventtiilin ohjaussignaali otetaan lämpötila-anturin avulla lämmitetyn väliaineen putkesta lämmönsiirtimen jälkeen.



Kuva 12: Yksinkertaistettu lämmityshöyryn säätöpiiri

Hörypuolen säätö on perinteisin tapa ohjata lämmönsiirtimen toimintaa. Ohjaustapa on elementissään silloin, kun lämmitettävän väliaineen haluttu sisään- ja ulostulon erolämpötila on verrattain suuri, jolloin säätöventtiili ei joudu rajoittamaan höyryvirtausta liialti, sekä silloin kun siirtimeltä halutaan kykyä reagoida nopeasti lämmöntarpeen muutoksiin. Säätöventtiili mitoitetaan valmistajan mitoitusohjelman avulla asiakkaan antamien prosessihöyryarvojen mukaisesti. Mitoitusohjelman antamasta laskentasisivusta on tärkeää käydä seuraavat asiat läpi: Venttiilin KVS-arvon eli läpäisykyvyn on oltava vähintään yhtä suuri kuin prosessin vaatima KV-arvo eli tarvittu virtaus. Sekä kustannus- että venttiilin säätökäyttäytymissyistä pyritään mahdollisimman lähelle prosessin KV-arvoa. Venttiilin DN-luokka valitaan annettujen prosessiarvojen mukaisesti. Käytettäessä höyryputkiston mukaista DN-mitoitusta on todennäköistä, että venttiilin säätökäyttäytymisestä tulee epästabiili virtausmäärän vaihtelun ollessa liian suuri venttiilissä. PN-luokka valitaan vastaamaan prosessia. Teknisestä esitteestä on tarkistettava venttiilin paine-/lämpötilakestävyys annetuille käyttöarvoille. Höyryn suositeltu virtausnopeus höyryputkessa on 20...40 m/s, mutta ennen säätöventtiiliä kuitenkin maks. 25 m/s. Venttiilin sisällä virtausnopeus saattaa nousta 100...150 m/s suuruiseksi. Maksimi sallittu äänentaso säätöventtiileille teollisuusympäristössä on 85 dB. Syntyvää äänentasoja voidaan alentaa putkiston

lämpöeristyksellä (n. -8 dB), putkiston äänieristyksellä (n. -13 dB), reikäkeilalla (n. -5 dB) tai häkin ja reikäkeilan yhdistelmällä (n. -7 dB). Mikäli äänentaso on silti liian korkea, joudutaan valitsemaan DN-kooltaan suurempi venttiili. Lämpötilan säätötarkoitukseen valitaan tasaprocenttinen säätökeila, jonka säätökäyttäytymistä verrattuna lineaariseen on havainnollistettu kuvassa 13. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 206 - 240)

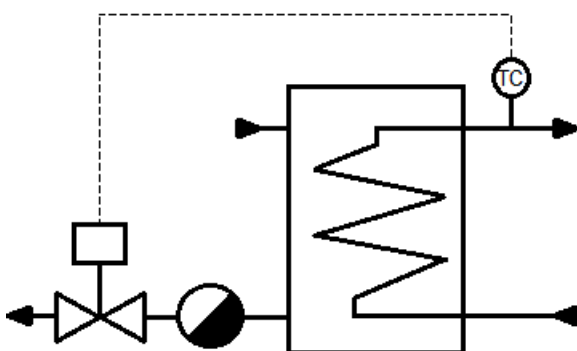


Kuva 13: Lineaarinen ja tasaprocenttinen venttiilin säätökäyrä

Tasaprocenttisen säätökeilan ja venttiilin oikean mitoituksen avulla venttiilin kara saadaan tavallisesti liikkumaan n. 20 – 80 % optimialueellaan, jolloin säätökäyttäytyminen on tarkkaa. Lopuksi on tarkasteltava asiakkaan moduulille antamaa suurinta sallittua painehäviötä, johon summataan sekä säätöventtiilistä että lämmönsiirtimestä aiheutuvat painehäviöt. Muun instrumentoinnin osuus kokonaispainehäviöstä on häviävän pieni. Turvallisena raja-arviona hyvän lauhteenpoiston takaamiseksi lämmönsiirrinmoduulille voidaan pitää n. 1,0 barin eropainetta höyry- ja lauhdejärjestelmän välillä. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 206 - 240)

5.2 Lauhdepuolen säätöpiiri

Lauhdepuolen säätöpiiri toteutetaan asentamalla säätöventtiili lämmittävän väliaineen piiriin lämmönsiirtimen jälkeen. Ennen säätöventtiiliä asennetaan lauhteenpoistin kuvan 14 mukaisesti, jolloin järjestelmien paine-eron vaikutus suoraan säätöventtiilin sisäosiin pienenee, pidentäen sen käyttöikä. Systeemin etuna on hyvä lauhteenpoistokyky, sillä lauhteenpoistimen ensiöpuolella ja lämmönsiirtimessä vaikuttaa aina höyryjärjestelmän paine. Toisaalta varjopuolena on systeemin hidas reagointi lämmönsiirron muutostarpeisiin sekä mahdolliset säätöventtiilin rikkoutumisongelmat jouduttaessa säätämään paine-erosta johtuvaa 2-faasivirtausta.



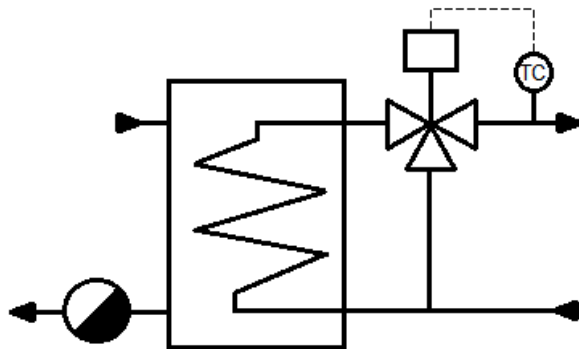
Kuva 14: Yksinkertaistettu lauhdepuolen säätöpiiri

Lauhdepuolen säätöpiiriä käytetään tavallisesti, kun lämmitettävän väliaineen tulo- ja lähtöpuolen lämpötilaero on pieni. Systeemi säilyttää lauhteenpoistokykynsä säätöventtiilin asennosta riippumatta, sillä höyrypuolen paine työntää lauhdetta suoraan poistimen läpi. Ratkaisulla pyritään alijäähdyttämään lauhdetta ja ottamaan lämpöenergiaa talteen myös siirtimen sisällä olevasta kylläisessä lämpötilassa olevasta lauhteesta, ennen sen poistumista siirtimestä. Tyypillisenä virheenä säätöventtiili saatetaan mitoittaa vedelle, jolloin saatu DN-koko on liian pieni. Säätöventtiili tulee mitoittaa 2-faasivirtaukselle, jotta lauhteen uudelleenhöyrystymisestä lauhteenpoistimen jälkeen. Oikean kokoinen säätöventtiili on tavallisesti jopa höyrypuolen säätöventtiiliä suurempi. 2-faasivirtaus aiheuttaa helposti vaurioita säätöventtiiliin, ellei sitä ole varusteltu esimerkiksi reikäkeilalla ja stellitoiduin pitopinnoin. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 206 - 240)

Paisuntahöyryyn muodostumista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 8.3.

5.3 Toisiopuolen säätöpiiri

Toisiopuolen säätöpiirissä lämmitettävän väliaineen puolelle asennetaan 3-tie-sekoitusventtiili, joka sekoittaa lämmönsiirtimeltä tulevaa kuumaa ja tulolinjan kylmää vettä halutun uloslämpötilan mukaisesti (kuva 15). Toisiopuolen sekoittava säätöpiiri voidaan yhdistää kappaleen 5.1 höyrypuolen säätöpiiriin tilanteissa, joissa lämmönsiirtotarpeen muutokset ovat suuria.

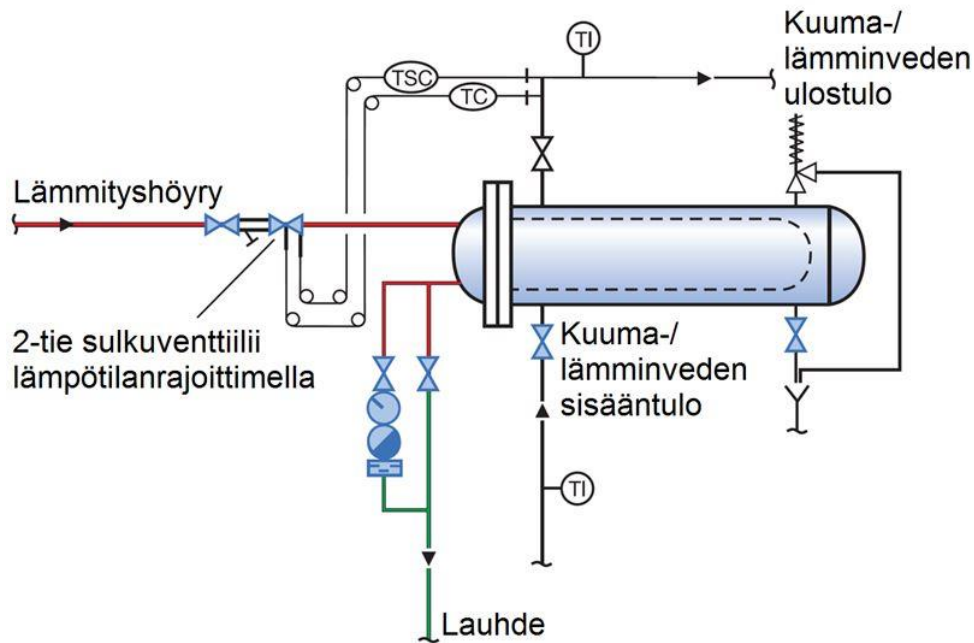


Kuva 15: Yksinkertaistettu toisiopuolen säätöpiiri

Toisiopuolen 3-tieventtiiliä voidaan käyttää säätämiseen yksinään silloin, kun toisiopuolen massavirta on suuri ja lämmönsiirtimen kuormitus likimain vakio. Tällöin siirrin voidaan mitoittaa lämmönsiirtolevyjen kanavien virtausvastuksista huolimatta pienemmäksi, kun osa vaaditusta virtausmäärästä tuodaan lämmönsiirtimen ohitse. Höyrypuolella ainoana säätölaitteena toimii tällöin lauhteenpoistin, joka aukeaa, kun tulopuolelle on alkanut kerääntyä lauhdetta. 3-tieventtiilin ja höyrysäätöventtiilin yhdistelmän ideana on kontrolloida suurista kuormanvaihteluista aiheutuvaa painehäviötä. Venttiilit ohjelmoidaan toimimaan karaliikkeen optimialueillaan niin, että moduulin lauhteenpoistokyky pysyy hyvänä saavuttaen samalla vaadittu toisiopuolen virtausmäärä ja ulostulolämpötila. Esimerkkinä höyrysäätöventtiili ei pääse sulkeutumaan alle 25 %:n karan kokonaisliikkeestä, 3-tieventtiilin sekoittaessa kylmää tulovettä ja korjaten siten siirtimen ulostulolämpötilan. Samanaikaisesti höyry- ja lauhtepuolella eropaine ei laske liiaksi, jolloin moduulin lauhteenpoistokyky säilyy.

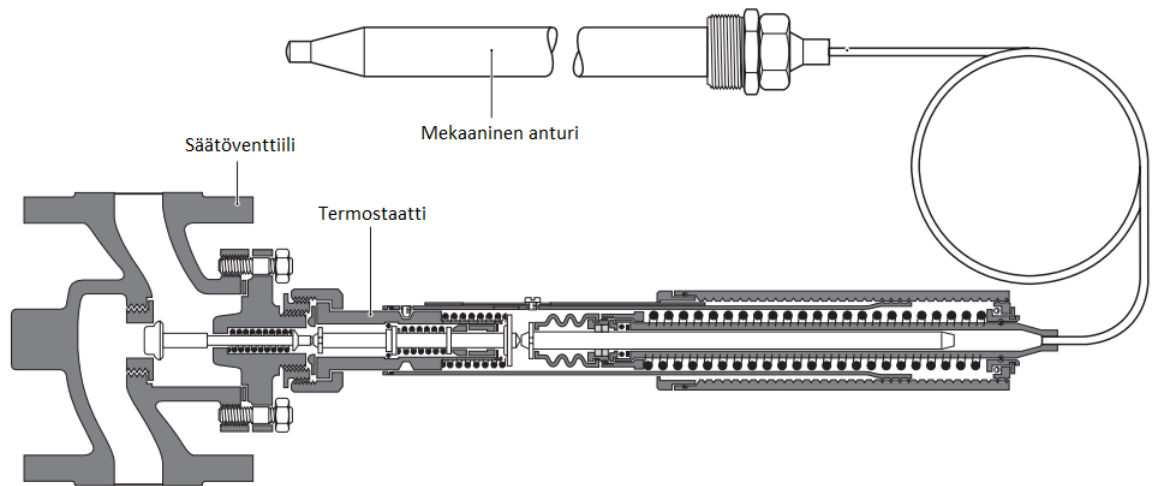
5.4 Omavoimainen säätöpiiri

Vakiokuormitetun lämmönsiirrinmoduulin ohjaus voidaan toteuttaa rakenteeltaan yksinkertaisen omavoimaisen säätöventtiilin avulla kuvassa 16 esitetyllä tavalla.



Kuva 16: Gestra omavoimaisen säätöventtiilin avulla toteutettu lämmönsiirrinjärjestelmä (Gestra Self-Acting Temperature Controllers, tekninen esite, s. 1)

Omavoimainen säätöventtiili (kuva 17) ei tarvitse toimiakseen erillistä toimilaitetta. Venttiilin karan asentoa ohjataan mekaanisesti siirtimen lämminveden ulostulolämpötilan perusteella. Omavoimaiseen säätöventtiiliin on saatavana varotoimintona ylälämpötilan rajoitin, joka lauetessaan sulkee venttiilin, kunnes vika käydään manuaalisesti kuittaamassa. Lämmönsiirtimen säätöpiirin toteutus omavoimaisen säätöventtiilin avulla on hankintakustannuksiltaan edullinen ja yksinkertainen tapa ohjata systeemin toimintaa, mutta vastaavasti osaltaan rajoittaa moduulin käyttömahdollisuuksia.

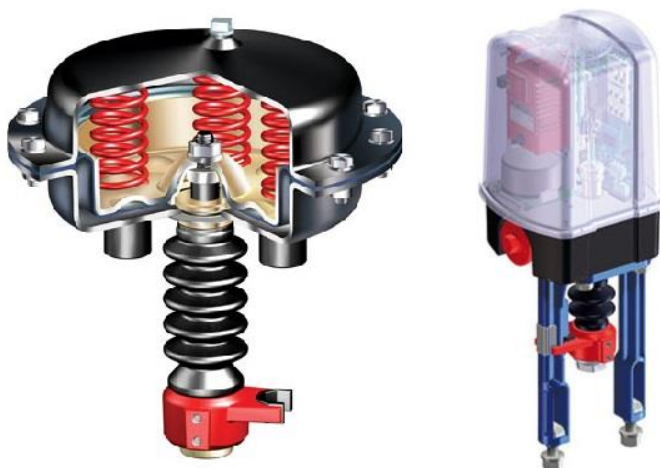


Kuva 17: Gestra omavoimainen säätöventtiili "System Clorius" (Gestra Self-Acting Temperature Controllers, tekninen esite, s. 1)

5.5 Toimilaitteellinen säätöventtiili

Toimilaitesäätöventtiileitä on saatavana kolmella eri käyttövoimalla, joita ovat sähköinen, sähköpneumaattinen ja hydraulinen. (Kuva 18). Pneumaattinen toimilaite on perinteinen tapa ohjata venttiiliä silloin, kun paineilmaa on saatavana. Robustin rakenteensa ansiosta se on elementissään haastavissa käyttöolosuhteissa, kuten esimerkiksi tärisevässä laivaympäristössä.

Sähköiset toimilaitteet ovat kehittyneet 2000-luvulla huomattavasti, ja niiden käyttö on yleistynyt. Sähköisestä toimilaitteesta saatava voima on kokoon suhteutettuna pneumaattista suurempi, jolloin hankintakustannukset ovat usein alhaisemmat, kun toimilaite voidaan mitoittaa pienemmäksi. Lisäksi ne toimitetaan tavallisesti todella hyvin varusteltuna, sisältäen esimerkiksi käsipyörän manuaaliohjausta varten, toimilaitteen takaisinkytkennän ja ohjausmahdollisuuden 3-pisteohjauksen, 0...10 V -ohjauksen tai 0/4...20 mA signaalin avulla.



Kuva 18: Ari Armaturenin valmistamat pneumaattinen DP32- ja sähköinen Premio-toimilaite (ARI-DP pneumatic actuator, tekninen esite ja ARI-PREMIO® electric thrust actuator, tekninen esite)

Sähköpneumaattisen toimilaitteen kuori toimii ”sylinteriputkena”, jonka sisällä olevan männän taikka kalvon pintaan vaikuttava, paineilmallä aikaansaatu voima liikuttaa toimilaitteen karaa, johon venttiili on liitetty. Pneumaattista toimilaitetta ohjataan ulkoisen sähköpneumaattisen asennoittimen avulla. Asennoitin tarkkailee toimilaitteen karan asentoa ja vertaa sitä annettuun ohjaussignaaliin, syöttäen paineilmaa halutulle puolen toimilaitetta. Sähköistä toimilaitetta ohjataan samalla periaatteella, mutta kaikki ominaisuudet ovat toimilaitteen kuoreen sisäänrakennettuna ohjauskortille, ohjaten sähkömoottoria.

Kumpaakin mallia on saatavana kaksi- tai yksitoimisena (eli jousipalautteisena). Jousipalautteinen toimilaite palautuu sähkö- tai paineilmakatkoksen aikana ennalta määrättyyn asentoonsa, kun kaksitoiminen toimilaite taas jäisi sillä hetkellä olevaan ajoasentonsa. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 240 - 244)

5.6 Säästöventtiilin mitoitus

Höyrysäästöventtiilin mitoitukseen prosessista tarvittavia tietoja ovat tulopuolen paine p_1 , lähtöpuolen paine p_2 (painehäviö säästöventtiilissä), sekä höyryvirta G . Prosessin virtaama, eli KV-arvo lasketaan kylläiselle höyrylle virtauksen kriittisyyden perusteella funktiosta:

$$\text{Epäkriittinen virtaus eli } P_2 > \frac{P_1}{2}: K_V = \frac{G}{22,4 \cdot \sqrt{\Delta p \cdot p_2}}$$

$$\text{Kriittinen virtaus eli } P_2 < \frac{P_1}{2}: K_V = \frac{G}{11,2 \cdot p_1}$$

G	höyryvirta [kg/h]
p_2	tulopaine [bar(a)]
p_1	lähtöpaine [bar(a)]

KV-arvon laskuesimerkki:

Kylläinen höyry

Höyry-/lauhdevirta 1200 kg/h

Tulopuolen paine 6 bar(a) @ 158,84 °C. Ominaistilavuus 0,3155 m³/kg

Lähtöpaine 5,5 bar(a) (painehäviö säästöventtiilissä)

$$\text{Epäkriittinen virtaus: } \frac{6 \text{ bar(a)}}{2} = 3 \text{ bar(a)} < 5,5 \text{ bar(a)}$$

$$K_V = \frac{1200}{22,4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot 5,5}} = 32,30 \dots$$

Prosessin KV-arvoa ei saa pyöristää missään tapauksessa alaspäin, sillä venttiilin on läpäistävä koko putkessa kulkeva virtaus. KV-arvon laskemisen jälkeen valitaan säästöventtiilin koko. Jäljempänä moduuliin valittu Ari Armaturen Stevi fig. 470 -säästöventtiilin

oikea koko voidaan arvioida teknisestä esitteestä löytyvää venttiilin KVS-taulukkoa käyttäen. Relevantti osa taulukosta on nähtävissä kuvassa 19. Keilatyypiksi on valittu parabolinen tasaprosenttisesti virtausta säätävä keila, jota käytetään paineen- ja lämpötilansäätösovelluksissa. Toisena parabolisena keilavaihtoehtona on lineaarinen keilatyypipi, jota käytetään pinnan- ja virtauksensäätöön.

DN			50			65			80			100			125			150
Parabolic plug	Kvs-value	(m³/h)	16	25	40	25	40	63	40	63	100	63	100	160	100	160	160	160
	max. diff. pressure ¹⁾	(bar)	40	30		30	15	30	15	8		15	8	4	8	4	4	
V-port plug	Kvs-value	(m³/h)	--			63			100			63	100	160	100	160	160	
	max. diff. pressure ¹⁾	(bar)	--			30			30			25			30	25	25	
Perforated plug	Kvs-value	(m³/h)	10	16	25	16	25	40	25	40	63	40	63	100	63	100	100	
	max. diff. pressure ¹⁾	(bar)	40	40		40			40			40			40			
Seat-Ø		(mm)	32	40	50	40	50	65	50	65	80	65	80	100	80	100	100	
Travel		(mm)	20	30		30			30			30			30			

Kuva 19: Ari Armaturen Stevi Fig. 470 säätöventtiilin teknisen esitteen DN / KVS-arvotaulukko

Venttiilin KVS-arvo valitaan aina vähintään yhtä suureksi tai suuremmaksi kuin prosessin vaatima KV-arvo. Tällöin venttiili ei kurista virtausta ollessaan täysin auki-asennossa. Säätöventtiilin mitoituksessa KVS-arvon tarkastelu on erityisen tärkeää toivotun säätökäyttäytymisen saavuttamiseksi. Liian suuri venttiili säätää virtausta tyypillisesti liikaa, jolloin prosessiarvot huojuvat. Liian pieni venttiili puolestaan ei pysty vastaamaan maksimikuormituksen vaatimukseen, eikä haluttua arvoa välttämättä saavuteta lainkaan. Taulukon perusteella voidaan käyttää kolmen eri DN-kokoluokan venttiiliä: DN50, DN65 ja DN80. Ennen lopullista valintaa tulisi tarkastella väliaineen virtausnopeutta venttiilissä, sekä säätöventtiilin tuottamaa äänentaso. Työkaluna tähän Konwell käyttää yleisesti ladattavissa olevaa mitoitusohjelmistoa Ari MyValve. Liitteessä 3 on esitetty ohjelman antama mitoituslaskenta väliaineen virtausnopeus- ja äänenvoimakkuuksineen. Laskentaohjelma suosittelee oikeaa venttiilityyppiä annettujen lähtöarvojen mukaisesti, tällöin suunnittelijan tehtäväksi jää käytännössä valita sovellukseen oikeantyyppiset varusteet ja tarkistaa, että ohjelman laskemat virtaustekniset arvot ovat sallittujen raja-arvojen sisällä. Suurin sallittu äänentaso teollisuusympäristössä on turvallisuusmääräyksistä johtuen tavallisesti 85 dB. Höyrylle suurin suositeltu virtausnopeus putkistossa ennen säätöventtiiliä on 25 m/s, venttiilin sisällä nopeus saattaa nousta jopa 150 m/s:n. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 206 - 240)

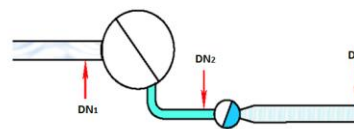
5.7 Höyryputken mitoitus

Höyryputket mitoitetaan höyryn tyypin ja paineen mukaisesti niin, että virtausnopeus ei ylitä suositeltuja arvoja. Liian suuri virtausnopeus aiheuttaa putkistolle ja varusteille enenaikaista eroosiota ja voi rikkoa prosessin laitteita. Kylläisen höyryn ohjevirtausnopeus putkistossa on 20...40 m/s, riippuen onko kyseessä siirtoputki vai esimerkiksi säätöventtiilin tulohöyryputki. Liian alhainen virtausnopeus puolestaan aiheuttaa tuorehöyrytappioita ja lisää laitoksen käyttökustannuksia. Kuvassa 20 on esitetty tuorehöyryputken mitoitus ennen lämmönvaihdinta ja tarvittava laskukaava.

• Esimerkki

- | | | |
|---|--|---|
| - Höyrylinjan paine (bar, abs.): 6 bar(a) | - $q_v = \text{tilavuusvirta} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$ | - $V'' = \text{höyryn tilavuus (ks. paine)} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$ |
| - Lauhdelinjan paine (bar, abs.): 1 bar(a) | - $v = \text{virtausnopeus} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ | - $A = \frac{q_v}{v} * \frac{1}{3600} [\text{m}^2]$ |
| - Höyryn massavirta $q_{m_h} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) : 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ | - $V' = \text{lauhteen tilavuus (ks. paine)} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$ | - Putken halkaisija $d[\text{mm}] = \sqrt{A * \frac{4}{\pi} * 1000}$ |

- Höyryn tilavuusvirta $q_{v_h} = q_{m_h} * V'' = 1000 * 0,3155 = 315,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$
 - virtausnopeus $v = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - $d[\text{mm}] = \sqrt{\frac{315,5}{25} * \frac{1}{3600} * \frac{4}{\pi} * 1000} = 66,77$
 - Valitaan $DN_1 = 80$



Kuva 20: Tulohöyryputken mitoitus lämmönvaihtimelle (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 91)

Myös venttiilivalmistajien mitoitusohjelmistot, kuten Gestra CALCUquick ja Ari MyValve tarjoavat mahdollisuuden tarkastella virtausnopeuksia ennen ja jälkeen säätöventtiilin eri putkiko'illa. Siirrinmoduuliin valitun putkikoon virtausnopeudet ovat nähtävissä Ari MyValvella tehdyn säätöventtiilin mitoituslehdeltä liitteessä 3.

6 Levylämmönsiirtimen lauhteenpoisto

6.1 Lauhteenpoiston teoriaa

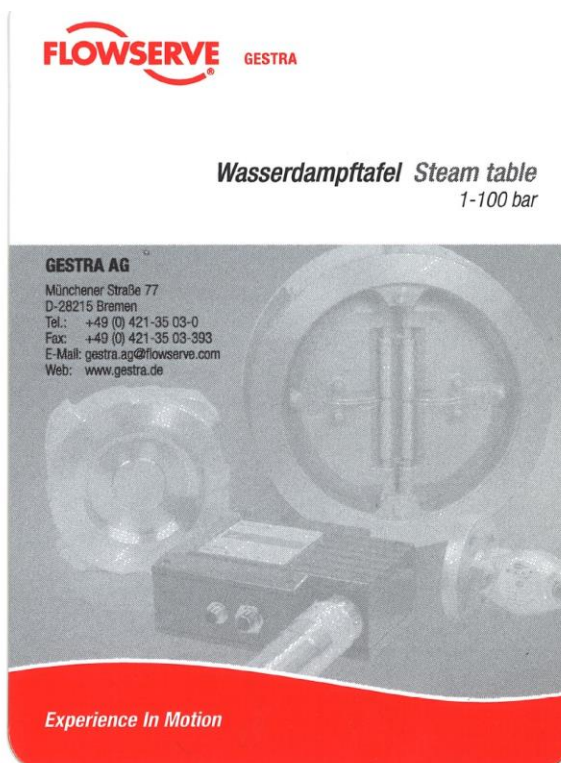
Lauhteenpoistojärjestelmän tehtävänä on lauhdeveden poistaminen höyryjärjestelmästä, ja kääntäen prosessihöyryn pitäminen höyryjärjestelmässä. Mikäli lauhteenpoistinlaite on vioittunut, aiheuttaa se välittömästi ongelmia tai energiahukkaa järjestelmään riippuen siitä, onko poistin rikkoutunut auki- vai kiinni-asentoon. Höyrylämmönsiirtimeen tuleva kylläinen höyry luovuttaa sitomansa lämpöenergian lauhtuen siirrinlevyjen pinnalla takaisin vedeksi, eli höyryalan ammattisanaston mukaisesti lauhteeksi. Siirtimeen kerääntyvä lauhde poistetaan laitoksen lauhteenpoistojärjestelmään, josta se siirtyy järjestelmien eropaineen avulla takaisin kohti syöttövesisäiliötä. Siirtimeen kerääntyneen lauhteen poistoon voidaan käyttää myös lauhteenpoistinpumppua, mikäli järjestelmien eropaine siirtimessä painehäviöiden jälkeen ei muutoin riitä poistamaan syntynyttä lauhdetta. (Gestra Condensate Manual 2005, s. 95 - 96)

6.1.1 Eropaine

Eropaineella tarkoitetaan paine-eroa jonkin järjestelmän laitteen yli, eli tulopuolen painetta verrattuna lähtöpuolen paineeseen. Useat höyryjärjestelmän laitteet kuristavat virtausta, jolloin järjestelmään syntyy painehäviöitä. Lämmönsiirtimen tapauksessa lauhdetta poistava eropaine siirtimen sisällä laskee sitä suuremmaksi, mitä enemmän säätöventtiili kuristaa sisään tulevaa höyryvirtausta. Tämä voi johtaa ns. siirtimen sakkaamiseen. Lämmönsiirtimessä painehäviötä lisäävät myös siirrinlevyjen virtausvastukset sekä itse lauhtumisreaktio, johtuen veden huomattavasti pienemmästä tilavuudesta höyryyn verrattuna (n. 1500x @ 1 bar(g)), kuten taulukosta 1 voidaan todeta. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 32 - 35)

Taulukko 1: Gestra AG 1-100 bar höyrytaulukko maahantuojaan käyttöön

Absoluter Druck p_a , bar Absolute pressure p_a , bara	Temperatur T_s , °C Temperature T_s , °C	Wasservolumen Water volume V' , m³/kg	Dampfvolumen Steam volume V'' , m³/kg	Dampfdichte Steam density ρ , kg/m³	Enthalpie des Wassers Enthalpy of water h' , kJ/kg	Enthalpie des Dampfes Enthalpy of steam h'' , kJ/kg	Verdampfungswärme Heat of evaporation r , kJ/kg
1,0	99,64	0,0010434	1,694	0,590	417,51	2675,4	2257,9
1,5	111,37	0,0010530	1,159	0,863	467,13	2693,4	2226,2
2,0	120,23	0,0010608	0,8854	1,129	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,0010675	0,7184	1,392	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,0010735	0,6056	1,651	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,0010789	0,524	1,908	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,0010839	0,462	2,165	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,0010885	0,4138	2,417	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,0010928	0,3747	2,669	640,12	2747,5	2107,4
5,5	155,46	0,0010869	0,3426	2,920	655,78	2751,7	2095,9
6,0	158,84	0,0011009	0,3155	3,170	670,42	2755,5	2085,0
7,0	164,96	0,0011082	0,2727	3,667	697,06	2762,0	2064,9
8,0	170,41	0,0011150	0,2403	4,161	720,94	2767,5	2046,5
9,0	175,36	0,0011213	0,2148	4,655	742,64	2772,1	2029,5
10,0	179,88	0,0011274	0,1943	5,147	762,61	2776,2	2013,6
11,0	184,07	0,0011331	0,1774	5,637	781,13	2779,7	1998,5
12,0	187,96	0,0011386	0,1632	6,127	798,43	2782,7	1984,3
13,0	191,61	0,0011438	0,1511	6,618	814,70	2785,4	1970,7
14,0	195,04	0,0011489	0,1407	7,107	830,08	2787,8	1957,7
15,0	198,29	0,0011539	0,1317	7,593	844,67	2789,9	1945,2
16,0	201,37	0,0011586	0,1237	8,084	858,56	2791,7	1933,2
17,0	204,31	0,0011633	0,1166	8,576	871,84	2793,4	1921,5
18,0	207,11	0,0011678	0,1103	9,066	884,58	2794,8	1910,3
19,0	209,80	0,0011723	0,1047	9,551	896,81	2796,1	1899,3
20,0	212,37	0,0011766	0,0995	10,050	908,59	2797,2	1888,6
21,0	214,85	0,0011809	0,09489	10,539	919,96	2798,2	1878,2
22,0	217,24	0,0011850	0,09065	11,031	930,95	2799,1	1868,1
25,0	223,94	0,0011972	0,07991	12,514	961,96	2800,9	1839,0
30,0	233,84	0,0012163	0,06663	15,008	1,008,40	2802,3	1793,9
40,0	250,33	0,0012521	0,04975	20,101	1,067,40	2800,3	1712,9
50,0	263,91	0,0012858	0,03943	25,361	1,154,50	2794,2	1639,7
60,0	275,55	0,0013187	0,03244	30,826	1,213,70	2785,0	1571,3
70,0	285,79	0,0013513	0,02737	36,536	1,267,40	2773,5	1506,0
80,0	294,97	0,0013842	0,02353	42,499	1,317,10	2759,9	1442,8
90,0	303,31	0,0014179	0,0205	48,780	1,363,70	2744,6	1380,9
100,0	310,96	0,0014526	0,01804	55,432	1,408,00	2727,7	1319,7



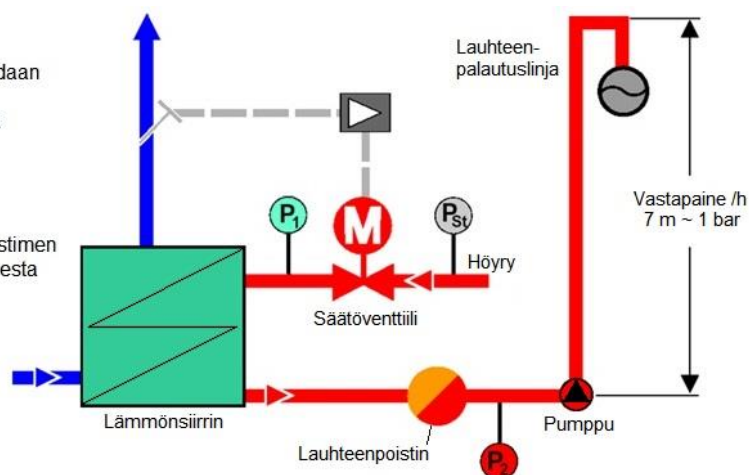
6.1.2 Sakkaaminen

Tapauksessa jossa siirrinmoduulissa höyry- ja lauhdejärjestelmän välinen eropaine laskee noltaan tai negatiiviseksi, lämmönsiirtimeen alkaa kerääntyä lauhdetta, joka johtaa lopulta siirtimen tulvimiseen. Kerääntyvä lauhde voi aiheuttaa huomattavia ongelmia siirtimen sisällä, esimerkiksi kavitointia levyurissa väliaineiden rajapinnoilla, jossa sisään tuleva kuuma höyry kohtaa kylmemmän lauhteen. Kavitointi johtaa ajan myötä siirrinlevyjen hitsausaumojen hajoamiseen sekä kuluttaa lämmönsiirtilevyjen pintoja. Lämmönsiirtimen vesikuorma johtaa myös huonontuneeseen lämmönsiirtoon, eli siirtimen tehokkuus kärsii. Lämmönsiirtimen ongelmat ilmenevät tyypillisesti prosessissa vasta myöhemmissä vaiheissa, joten vianetsintä voi olla vaikeaa. Siirtimen tulviminen, eli sakkaaminen estetään käyttämällä lauhteenpoistoon erillistä lauhteen nostinta tai lauhdepumppua, joka takaa riittävän paineen poistopuolelle. Kuvassa 21 on esitetty tyypillinen lämmönsiirtimen pumppaava lauhteenpoistoratkaisu. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 134 - 147)

- ☐ $P_2 < P_1$ (jatkuva) lauhteenpoistinta voidaan käyttää
 - ☐ $P_2 > P_1$ lauhteennostinta täytyy käyttää
- Sytä $P_2 \geq P_1$:lle**
1. Säätöventtiilin toiminta
 2. Nouseva lauhdelinja
 3. Suuri vastapaine johtuen lauhteenpoistimen jättöpuolen putken väärästä mitoituksesta

Korjauskeinot

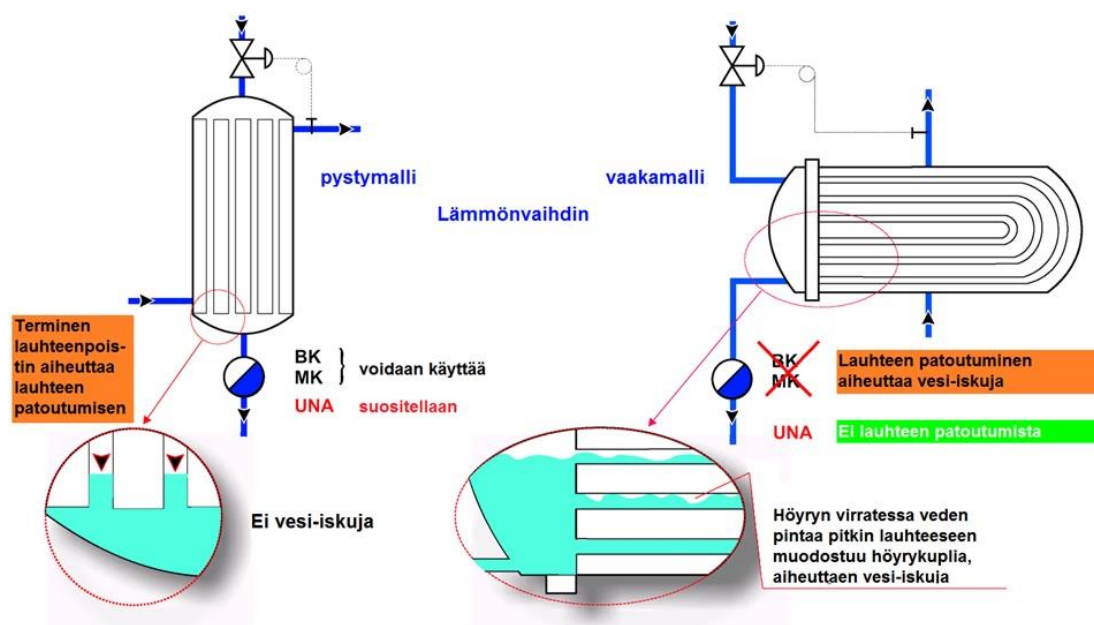
1. Käynnistysvesitysventtiilin käyttö
2. Lauhteennostimen käyttö



Kuva 21: Painehäviöt ja lauhteen pumppaus lämmönsiirtimestä

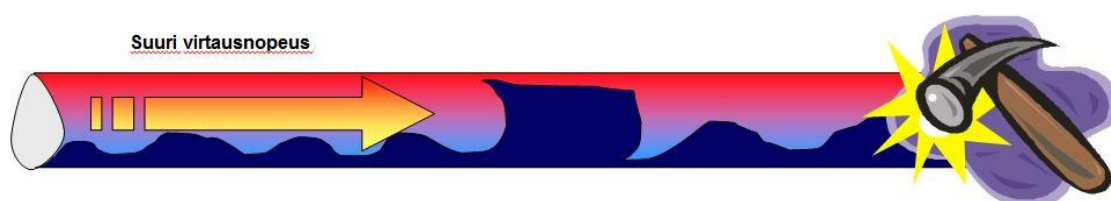
6.1.3 Vesi-iskut

Tyypillinen ongelma lauhteen keräytyessä siirtimeen ovat vesi-iskut. Aikaisemmin kapaleessa 6.3 käsiteltiin erilaisia siirrinlevyjen uraprofiileita. Riippuen valmistajan käyttämästä profiilista on mahdollista, että siirtimeen sisään tuleva höyry pääsee kulkeutumaan lauhteen pinnalla siirrinlevyjen sisällä jonkin matkaa ennen lauhtumistaan, muodostaen nk. höyrytaskun. Höyrytaskun lauhtuessa nopeasti syntyy tyhjiö, jota kohti ympärillä oleva lauhde syöksyy aiheuttaen imploosion. Tällaista vesi-iskutyyppiä kutsutaan termiseksi vesi-iskuksi (kuva 22).



Kuva 22: Termisen vesi-iskun periaate lämmönsiirtimessä. Gestra BK ja MK: Termostaattinen lauhteenpoistin, UNA: Uimurilauhteenpoistin (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 126)

Toinen vesi-iskutyyppi on nk. hydraulinen vesi-isku (kuva 23). Tässä tapauksessa lauhdetta on liikaa, jolloin höyry ei pääse virtaamaan kanavassa olevan lauhteen ohitse ja syntyy vesitulppa. Paine-ero alkaa kiihdyttää tulppaa, joka voi saavuttaa enimmillään höyryn virtausnopeuden. Tulpan törmätessä mutkaan tai laitteeseen syntyy hydraulinen vesi-isku. Toinen tyypillinen tilanne on nousuputken yhteydessä syntyvä hydraulinen vesi-isku. Paine-eron kadotessa lauhteen takaisinvirtaus putkea pitkin aiheuttaa hydraulisia vesi-iskuja alapuolisiin laitteisiin, esimerkiksi uimurilauhteenpoistimen säiliöön. Tällöin on vaarana uimuripallon tai säätöyksikön rikkoutuminen. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 151 ja 121 - 133)



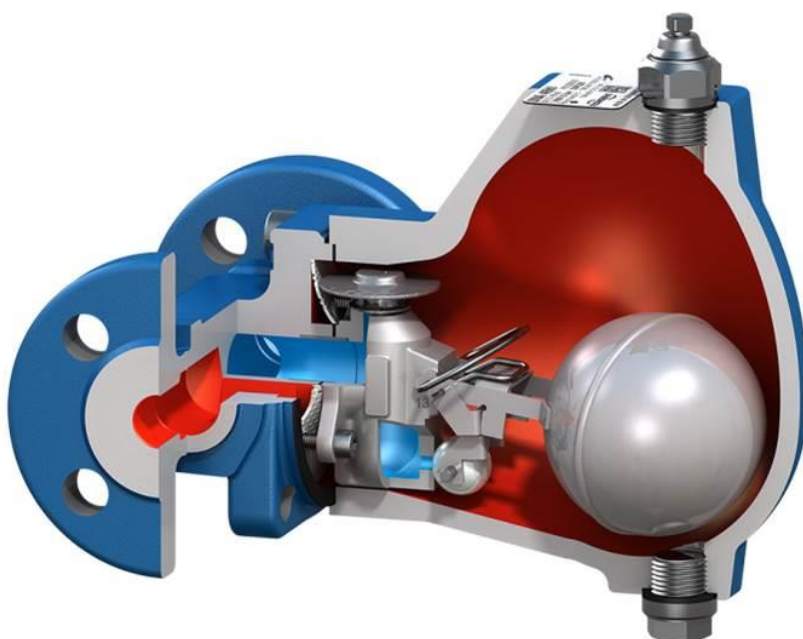
Kuva 23: Periaatekuva hydraulisen vesi-iskun syntymisestä (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 121)

6.2 Lauhteenpoistotavat

Höyryn luovuttaessa varastoimansa energian se lauhtuu takaisin vedeksi. Vesi kierrätetään takaisin syöttövesisäiliöön ja höyrykattilalle laitoksen lauhteenpoistojärjestelmän kautta. Prosessissa syntynyt vesi kerääntyy höyryjärjestelmässä painovoiman ansiosta putkiston alimpiin kohtiin, joista se poistetaan erityisillä tarkoitukseen suunnitelluilla venttiileillä, eli lauhteenpoistimilla. Lauhteenpoistimet ovat joko mekaanisesti tai termostaattisesti ohjattuja. Kummallakin rakenteella on tiettyjä erikoispiirteitä, jotka on huomioitava poistinta valikoitaessa.

6.2.1 Uimurilauhteenpoistin

Mekaanisista lauhteenpoistimista yleisin on uimurilauhteenpoistin, jonka rakenteeseen on integroitu pienikokoinen säiliö lauhteen kerääntymistä varten. Säiliön sisällä pinnan-tarkkailijana toimii vivun päässä oleva metallinen koho, joka pinnannousun seurauksena aukaisee vivun toiseen päähän asennettua sulkukuulaa (kuva 24). Lauhteenpoistin mukautuu järjestelmän lauhdekuormaan ja poistaa lauhdetta tasaisesti toisiopuolen putkeen järjestelmien eropaineen avulla. Termo-ohjattuihin poistimiin verrattuna hankintakustannuksiltaan kalliimpaa uimurilauhteenpoistinta käytetään suurille lauhdekuormille nopean vasteen ja jatkuvan toimintamahdollisuutensa ansiosta. Toisaalta poistinmalli on herkkä järjestelmän vesi-iskuille ja likaantumiselle. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 59 - 74)

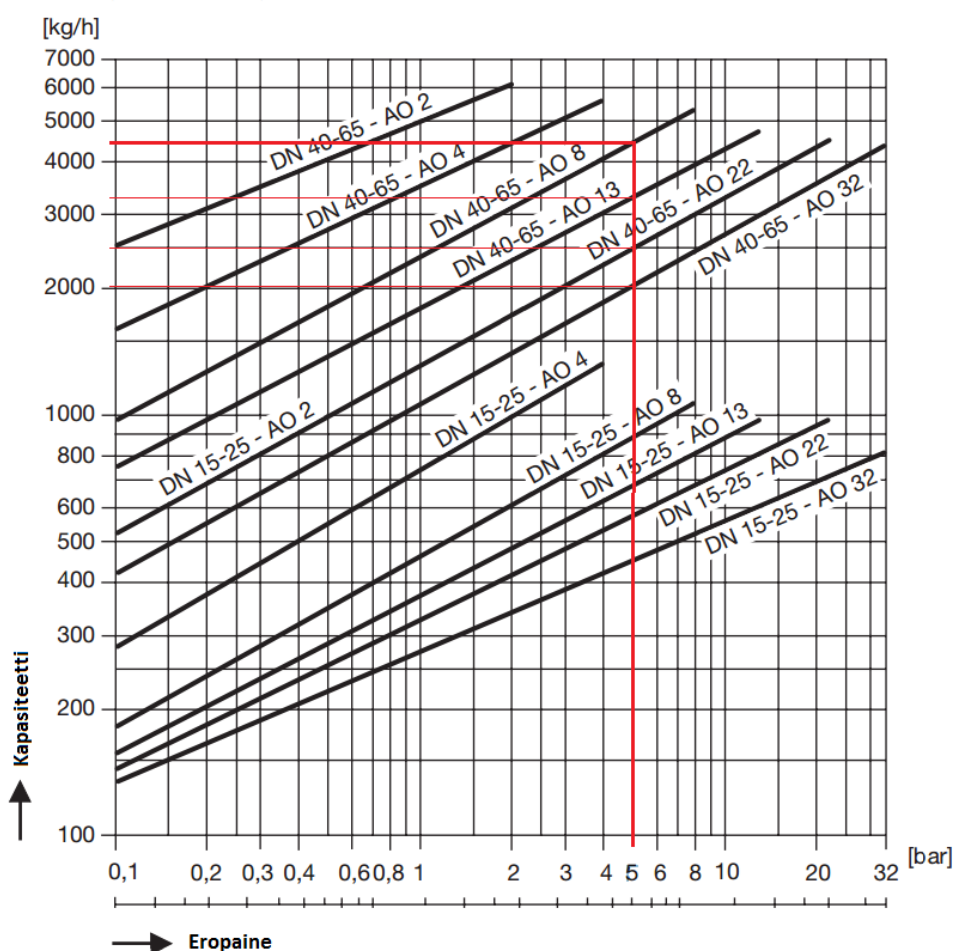


Kuva 24: Gestra UNA4 Duplex -uimurilauhteenpoistin ilmanpoisto-ominaisuudella (Gestra UNA4, tekninen esite)

Uimurilauhteenpoistin mitoitetaan höyry- ja lauhdejärjestelmien paine-eron ja syntyvän lauhdemäärän mukaisesti. Gestra UNA-mallissa suuttimen reiän halkaisija, eli AO valitaan eropaineen perusteella (Δp). Taulukossa 2 on esitetty UNA4-mallin teknisestä esitteestä löytyvä läpäisykäyrästä.

Taulukko 2: Gestra UNA4-mallin lauhteenpoistokapasiteetti suhteessa rungon ja istukan kokoon, eli AO:n (Gestra UNA4, tekninen esite)

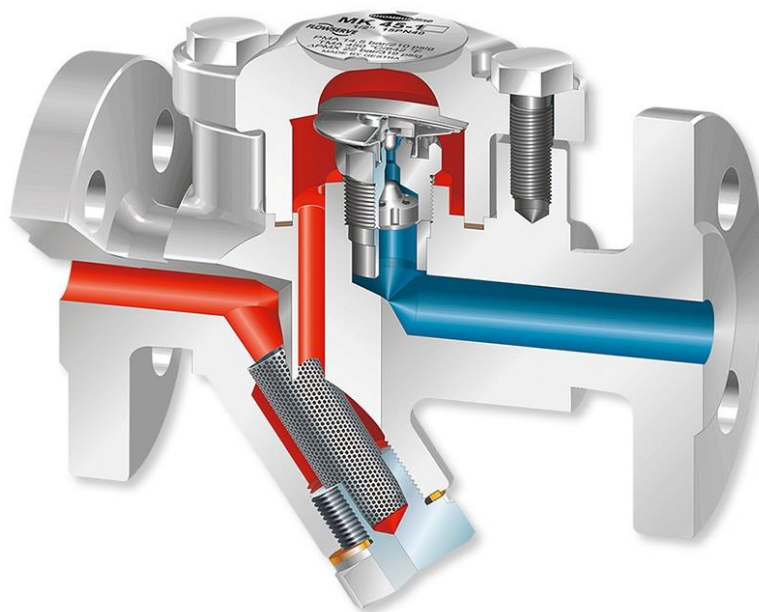
UNA 45, UNA 46, UNA 46A



Esimerkki: Höyrypuolen paine 6 bar, lauhdepuolen vastapaine 1 bar, eropaineeksi saadaan 5 bar. Valitaan minimissään AO5. Lauhdemäärän ollessa 1200 kg/h käytetään runkokokoa DN40-65, AO8, 13, 22 tai 32. Valmistajan suositus on käyttää paine-erosta seuraavana lähimpänä olevaa istukkokokoa AO8.

6.2.2 Termostaattinen lauhteenpoistin

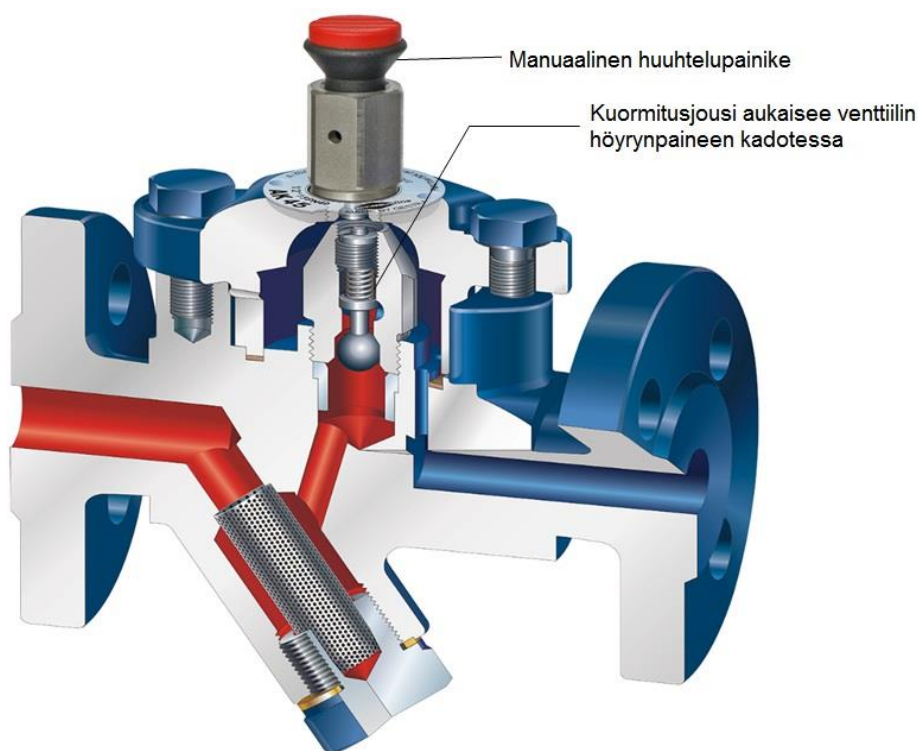
Termostaattinen lauhteenpoistin (kuva 25) toimii sisäisen lämpötilan perusteella. Höyryjärjestelmässä poistimen eteen kerääntyvä lauhdepatsas, eli patouma, jäädyttää sisällä olevaa termostaattirakennetta (tavallisesti joko käpristyvät bi-metallilevyt taikka höyrystyvällä väliaineella täytetty kalvosäädin), joka kylmetessään avaa venttiilin karaa päästämään lauhdevettä poistimen läpi toisiopuolelle. Kun poistimen eteen kerääntynyt, jäähtynyt lauhde on poistunut ja kuuma lauhde sekä höyry pääsevät poistimeen, kuume-nee termostaatti sulkien taas venttiilin. Ominaisuuksiltaan lauhdetta patoavat termostaattiset ja -dynaamiset lauhteenpoistimet eivät jäädy helposti, ne ovat hankintakustannuksiltaan edullisia ja kestävät hyvin vesi-iskuja, mutta eivät sovellu käytettäväksi nopeaan tai suurten lauhdemäärien poistamiseen. Tyypillisin käyttökohde on linjavesitys, eli höyryn siirtoputken lauhteenpoisto (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 41-55). Lämmönsiirrinmoduulin yhteydessä termostaattista lauhteenpoistinmallia käytetään tulohöyryputken vesitykseen sekä hyvän lämpötilankestonsa takia järjestelmän ilmanpoistoon.



Kuva 25: Gestra MK45-1 -termostaattinen lauhteenpoistinmalli maks. PN40 höyryjärjestelmiin (Gestra MK45, tekninen esite)

6.2.3 Käynnistysvesitysventtiili

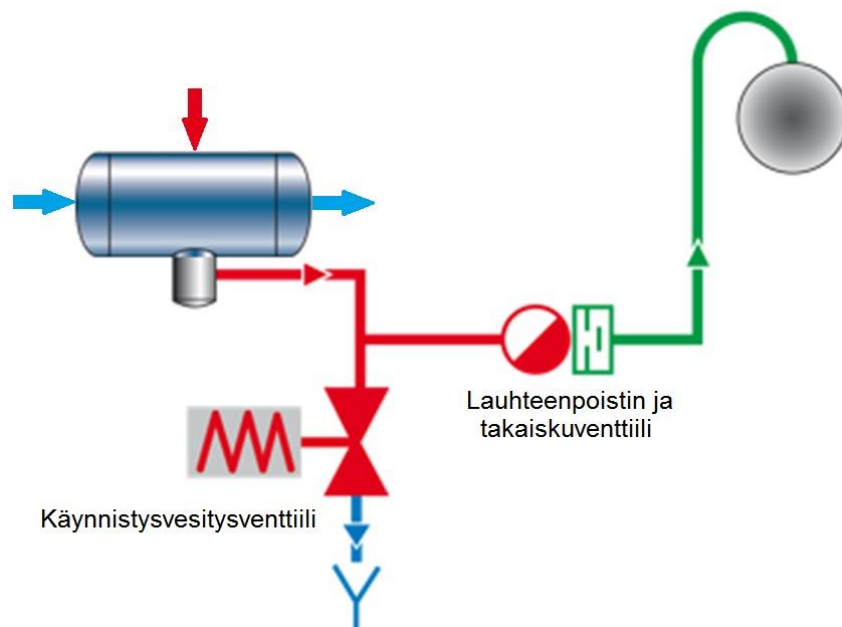
Käynnistysvesitysventtiilit on suunniteltu automaattiseen ja nopeaan lauhteen- ja ilmanpoistoon höyryprosessin ylös- ja alasajon aikana, jolloin lauhde ja kaasut eivät muutoin pääse poistumaan järjestelmästä alhaisen eropaineen seurauksena. Käynnistysvesitysventtiilin sisäinen jousi (kuva 26) aiheuttaa venttiilin avautumisen silloin, kun järjestelmä on paineeton tai paine katoaa venttiilin etupuolella. Venttiili estää vakuumin syntymisen ensiöpuolelle ja poistaa jäljelle jäävän prosessiveden. AK45:tä käytetään myös suojaamaan vain toisinaan käytössä olevia järjestelmiä jäätymiseltä. Prosessia ylösajettaessa venttiili auttaa lauhteenpoistossa, kunnes paineen noustessa jousi sulkee venttiilin esi-asetetun sulkeutumispaineen mukaisesti. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 133)



Kuva 26: Gestra AK45 -käynnistysvesitysventtiili (Gestra AK45, tekninen esite)

Suurimmat lauhdemäärät lämmönsiirtimessä syntyvät silloin, kun järjestelmää ylösajetaan. Käynnistysvesitysventtiili auttaa lauhteenpoistinta ylösajon aikana, kun höyryjärjestelmän paine on matala tai huojuu. Lisäksi käynnistysvesitysventtiilistä on apua tilanteissa, joissa säätöventtiili kuristaa lämmönsiirtimeen pääsevää höyryvirtausta niin, että eropaine ei jaksaa siirtää lauhdetta poistimen läpi (kuva 27). Tällöin käynnistysvesitysventtiili aukeaa, estäen lauhteen kertymisen siirtimeen ja siirtimen sakkaamisen. Huonona puolena käynnistysvesitysventtiili tulee asentaa aina niin, että ulostulopuolen linja

on vastapaineeton, esimerkiksi suoraan viemäröintiin tai erilliseen vastapaineettomaan keräyssäiliöön. Käyttökelpoisen prosessiveden viemäröinti aiheuttaa vedenpuhdistustarpeen lisääntymistä ja energiahävikkiä.

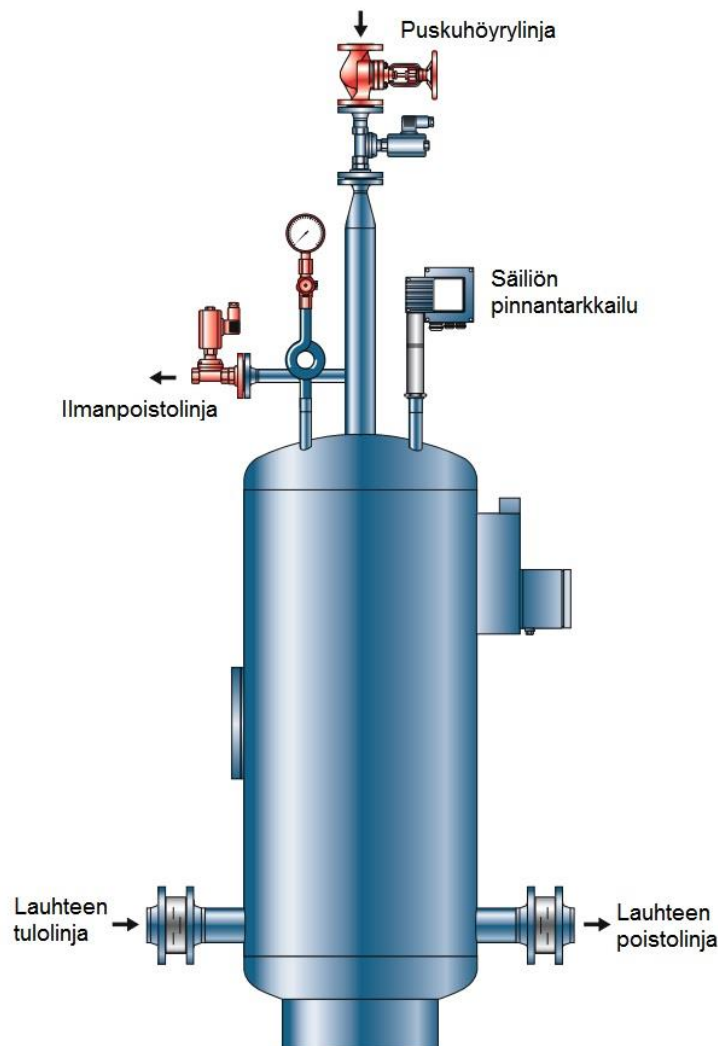


Kuva 27: Käynnistysvesitysventtiilin käyttö yhdessä lauhteenpoistimen kanssa estää järjestelmän sakkautumista ylösajon aikana (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 133)

6.2.4 Lauhteennostin

Lauhteennostin (kuva 28) on laite, jonka tehtävänä on pumpata höyryjärjestelmästä kertyvä lauhde lauhteenpoistojärjestelmään. Lauhteennostinta käytetään silloin, kun eropaine höyryjärjestelmästä lauhdejärjestelmään on niin alhainen, että se ei yksinään riitä poistamaan lauhdetta tarpeeksi nopeasti. Tällöin on vaarana lauhteen tulviminen höyryjärjestelmässä, mikä aiheuttaa mm. vesi-iskuja ja pahimmassa tapauksessa lämmönsiirtoprosessin pysähtymisen. Eropaine voi olla myös negatiivinen, jolloin lauhdevesi imeytyy lauhteenpoistimesta takaisin höyryjärjestelmään. Virtaus takaisinpäin estetään valitusta tyypistä riippuen joko lauhteenpoistimen sisäisellä takaiskurakenteella, taikka asentamalla erillinen takaiskuventtiili lauhteenpoistimen jättöpuolelle. Lauhteen takaisinvirtaukseen ja takaiskuventtiiliin liittyvä ilmiö on myös vakuumin syntyminen ensiöpuolelle. Lämmönsiirrinmoduulia rakennettaessa onkin tärkeää huomioida, että laitteiden on oltava joko vakuuminkestäviä tai muutoin on asennettava erillinen alipainevaroventtiili. Alipainevaroventtiilin kautta höyryjärjestelmään pääsee kuitenkin ilmakehän kaasuja,

jotka aiheuttavat korroosiota järjestelmälle, toimivat lämmönsiirtoprosessissa eristeenä ja lisäävät prosessiveden kemiallisen käsittelyn tarvetta.



Kuva 28: Gestra KH sähköisellä pinnanvalvontajärjestelmällä varusteltu pumppaava lauhteennostin (Gestra Steam-Powered Condensate-Return Unit KH 09/11, tekninen esite)

Lauhteennostimia on saatavana 25 - 400 l säiliökoolla. Säiliö mitoitetaan niin, että pumpaustoiminnon aikana prosessista syntyvä lauhde ei kerkeä aiheuttamaan ongelmia höyrypuolella. Lauhteennostinta käytetään tapauksissa, joissa lauhdejärjestelmän vastapaine ylittää höyryjärjestelmän paineen, esimerkiksi silloin kun lauhdetta tarvitsee nostaa putkessa ylävirtaan. Vastapaine mitoitetaan hydrostaattisen ja dynaamisen paineen laskukaavojen summasta. Gestralla nopeana ”hiha-arvona” mitoituksessa käytetään 1 barin vastapaineen nousua jokaista nostettua 7 m:ä kohden. Laskettaessa käytetään veden maksimi ohjetiheyttä 1000 kg/m³, pitäen silmällä järjestelmän käynnistystilannetta. Käyn-

näin aikainen järjestelmien paine-erosta aiheutuva lauhteen uudelleenhöyrystyminen aiheuttaa lauhdepuolelle jonkin verran vastapaineennousua, varsinkin jos lauhdelinja on mitoitettu ahtaaksi. Tällöin 2-faasiseoksen tiheys on myös todellisuudessa pienempi kuin pelkän veden. Mallinnusohjelmiston puuttumisen johdosta laskuesimerkissä on esitetty tarvittavan nostopaineen laskeminen Bernoullin lakia mukaillen, käyttäen varmuuskerrointa 1,3, johon on sisällytetty paisuntahöyryn vaikutus, putkien sisäpintojen karheuden vaikutus sekä lauhteennostimen läheisyyteen tehdyt putkimutkat.

$$\rho = \text{nesteen tiheys (vesi)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = \text{maan putoamiskiihtyvyyys} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = \text{nesteen yläpinnan korkeus tarkasteltavasta pisteestä} = 7 \text{ m}$$

$$v = \text{haluttu lauhteen virtausnopeus nostimen jättöpuolella} = 2,5 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Hydrostaattisen paineen laskukaava } p_{hyd} = p &= \rho gh = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 7 \text{ m} \\ &= 68670,0 \text{ Pa} \approx 69 * 10^3 \text{ Pa} \approx 0,69 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dynaamisen paineen laskukaava } p_{dyn} &= \frac{\rho v^2}{2} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} \\ &= 3125 \text{ Pa} \approx 3 * 10^3 \text{ Pa} \approx 0,03 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\text{paineennousu 7m nostamisen seurauksena: } p_{hyd} + p_{dyn} = 0,72 \text{ bar}$$

$$\text{varmuuskerroin } 1,3$$

$$\text{vaadittu nostopaine} = 0,72 \text{ bar} * 1,3 = 0,936 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar}$$

6.2.5 Lauhteennostimen toimintakuvaus

Lauhde virtaa lauhteennostimen ensiöpuolelle asennetun takaiskuventtiilin kautta säiliöön, poistaen samalla kaasuja/paisuntahöyryä ilmausventtiilin läpi ulkoilmaan. Lauhteen pinnantarkkailujärjestelmä voi olla toteutettu joko sähköisellä anturilla tai mekaanisella koholla. Kun lauhteen pinta saavuttaa asetetun säiliön ylärajan, sulkeutuu ilmausventtiili ja laitoksen höyryjärjestelmään kytketty puskuhöyryventtiili avautuu, työntäen säiliöön kertyneen lauhteen höyryjärjestelmän paineella lauhteenpoistolinjaan. Kun lauhdepinnan alaraja saavutetaan, sulkeutuu puskuhöyryventtiili ja ilmanpoistoventtiili aukeaa aloittaen syklin uudelleen. Lauhteennostimen toisiopuolelle kytketty takaiskuventtiili estää lauhteen takaisinvirtauksen säiliöön täyttymisen aikana, samalla tavoin kuin ensiöpuolelle kytketty takaiskuventtiili estää lauhteen virtauksen takaisin höyrystyspuolelle pumppaustoiminnon aikana. (Gestra Steam-Powered Condensate-Return Unit KH 09/11, tekninen esite)

6.3 Lauhteenpoistolinjan mitoitus

Lauhteenpoistolinja mitoitetetaan syntyvän paisuntahöyrymäärän mukaan. Paisuntahöyryä syntyy, kun tietyssä paineessa ja kylläisen höyryn lämpötilassa oleva lauhde johdetaan matalampaan paineeseen, jolloin veden kiehumislämpötila alenee. Tällöin tapahtuu uudelleenhöyrystyminen, jonka tuloksena syntyy paisuntahöyryä erolämpötilan mukaisesti. Höyryn tilavuus on huomattavasti suurempi kuin veden, joten paisuntahöyrymäärällä on ratkaiseva vaikutus lauhdeputken koon valinnassa. Nyrkkisääntönä paisuntahöyrymäärän nopeaan arviointiin voidaan käyttää kaavaa

$$\text{Paisuntahöyry\%} = (t_1 - t_2) * 0,2.$$

Esimerkki paisuntahöyrymäärän laskemisesta:

6 bar(a) höyryjärjestelmä, 1 bar(a) vastapaineinen lauhdejärjestelmä. Syntynyt paisuntahöyrymäärä on noin $(158,84\text{ °C} - 99,64\text{ °C}) * 0,2 \approx 11,8\text{ \%}$ koko lauhdemäärästä.

Paisuntahöyryn todellinen merkitys lauhteenpoistossa selviää, kun tarkistellaan eroa tilavuusvirroissa. Tarkistellaan lauhteen ja paisuntahöyryn tilavuusvirtaa 1200 kg/h höyryn massavirtaukselle tapauksessa, jossa syntynyt paisuntahöyryn osuus on 11,8 %.

$$q_{mh} = \text{höyryn massavirta} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$v' = \text{veden tilavuus tietyssä paineessa} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$v'' = \text{höyryn tilavuus tietyssä paineessa} \left[\frac{m^3}{kg} \right]$$

$$\text{Lauhteen massavirta } q_{ml} = q_{mh} * 0,882 = 1200 \frac{kg}{h} * 0,882 \approx 1058 \frac{kg}{h}$$

$$\text{Lauhteen tilavuusvirta } q_{vl} = q_{ml} * v' = 1058 \frac{kg}{h} * 0,00104 \frac{m^3}{kg} \approx 1,1 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Paisuntahöyryn massavirta } q_{mp} = q_{mh} * 0,118 = 141,6 \frac{kg}{h}$$

$$\text{Paisuntahöyryn tilavuusvirta } q_{vp} = q_{mp} * v'' = 141,6 \frac{kg}{h} * 1,694 \frac{m^3}{kg} = 239,9 \frac{m^3}{h}$$

Tulokseksi saatu paisuntahöyryn tilavuusvirta on n. 240-kertainen suhteessa syntyneen lauhdemäärän tilavuusvirtaan. Laskuissa on käytetty (kappale 8.1.1, taulukko 1) Gestra AG:n höyrytaulukosta löytyviä tilavuus- ja lämpötila-arvoja. Lopullinen putken DN-koko lasketaan tilavuusvirtojen summan avulla kaavasta

$$DN[mm] = \sqrt{\frac{\Sigma q_v}{v} * \frac{1}{3600} * \frac{4}{\pi} * 1000} = \sqrt{\frac{(1,1 + 239,9) \frac{m^3}{h}}{20 \frac{m}{s}} * \frac{1}{3600} * \frac{4}{\pi} * 1000} \approx 65,3$$

$$v = \text{virtausnopeus (paisuntahöyry lauhdeputkissa } 15 - 20 \frac{m}{s} \text{)}.$$

Siirrinmoduulin lauhteenpoistoputkeksi valitaan standardiputki DN65. Tavallisesti Konwell käyttää putken mitoituseseen Gestra AG:n internet-sivuilta, osoitteesta

<http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html?calc=7>

löytyvää mitoitusohjelmaa, josta saadaan samalla säästöpotentiaaliarvio, mikäli syntyneen paisuntahöyryn hukkalämpö hyödynnetään prosessissa.

2-faasivirtauksessa lauhdeputken mitoituksen virtausnopeusohjeena pidetään 15 – 20 m/s. Tällöin putki on riittävän suuri, jotta yläosassa kulkeva höyry ei vielä ”liippaa” lauhdetta mukaansa ja aiheuta vesi-iskuja, mutta on samalla kooltaan ja hankintakustannuksiltaan maltillinen verrattuna tapaukseen jossa pyrittäisi lauhteelle sallittuun suurimpaan sallittuun ohjevirtausnopeuteen 5 m/s. Syntynyt paisuntahöyry lauhtuu siirtyessään putkistossa nopeasti takaisin lauhteeksi, jolloin tilavuuden laskun seurauksena myös virtausnopeus laskee suositeltuihin raja-arvoihin. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, diat 92 - 93)

7 Lämmönsiirrinmoduulin rakentaminen

Siirtimeksi valittiin Vahterus PSHE (Plate and Shell Heat Exchanger) hitsattu levylämmönsiirrin, joka on nimellisteholtaan 600 kW. Muita asiakkaalta tarvittavia suureita ovat käyttötarkoituksen lisäksi prosessilämpötilat, -paineet, moduulin suurin sallittu painehäviö, odotettu likaantumiskerroin ja käytetyt väliaineet (väliaineen tiheys, viskositeetti, lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti). Ilmoitettujen tietojen perusteella määritetään levylämmönsiirrimen vaippakoko sekä tarvittava levyjen määrä. Siirrimen käyttötarkoitus on erityisen tärkeä tekijä määritettäessä sopivaa siirrintä. Erilaiset lämmönsiirrimen kytkentä- ja ohjaustavat voivat aiheuttaa epätasaista tai tehotonta lämmön siirtymistä tai suuria lämpötilaeroja, jotka on otettava huomioon lämmönsiirrimen suunnittelussa ja valmistuksessa.

Insinööriyön päätteeksi valmistettu moduuli on toteutettu ns. höyrypuolen säädöllä, joka on yleisimmin käytetty säätötapa höyrylämmönsiirrimen tapauksessa. Höyrypuolelle asennettu säätöventtiili aiheuttaa oman lisänsä moduulin kokonaispainehäviöön, mikä tulee ottaa huomioon verrattaessa pakettia asiakkaan ilmoittamiin sallittuihin arvoihin. Mikäli siirrimen kokonaispainehäviö todetaan liian suureksi, on vaihtoehtona muuttaa siirrimen rakennetta, säätötapaa tai lisätä siirrinmoduulin osaksi erillinen lauhteennostin. Lauhteennostimen tehtävänä on pumpata syntynyt lauhde pois lämmönsiirrimeltä ulkoisen energian avulla. Kuten siirrimen mitoitus, myös moduulin instrumentointi räätälöidään tavallisesti aina käyttökohteen vaatimusten mukaan, sillä saatavia lisälaitteita on

useita. Kaupanteon tarjousvaiheessa käytetään perusmallin siirrinmoduulin PI-kaaviota ja laiteluetteloa, jolloin instrumentointi on rajoitettu minimiin, jotta paketin hinta pysyisi suoraan verrannollisena muiden valmistajien vastaaviin ratkaisuihin. Tällä tavoin tarjousvaiheessa tehtyjä oletuksia ovat mm. tulevan kylläisen höyryn riittävä kuivuus säätöventtiilille, lauhdepuolen alhainen vastapaine ja se, että vaihtimen ylikuumenemisvaara on pieni tai sitä ei esiinny (eli toisiopuolen paine on likimain yhtä suuri tai suurempi kuin ensiöpuolen paine).

Konwell Oy:n höyrykoulutusmateriaalia lainaten: ”Jokainen höyryprosessi on ainutlaatuinen”. Samaisesta syystä lämmönsiirrinmoduulin vakioinstrumentointi ja -liitettävyyys erilaisille prosessiarvoille, -kohteille ja laitostiloille ei ole mahdollista niin, etteikö ominaisuuksia jouduttaisi tarkastelemaan aina tapauskohtaisesti. Työn tuloksena asiakasprojektiin suunnitellusta lämmönsiirrinmoduulista on jätetty ylimääräiset lisälaitteet pois, ja se on kokemuseräisesti kohdistettu soveltuvaksi tyypillisiin asiakassovelluksiin. Moduuliin voidaan tarvittaessa liittää tarvittavia lisälaitteita kuten esimerkiksi pisanerotin, ylimääräisiä ohitus- tai tyhjennyslinjoja, lisäantureita, yms. Jäljempänä kuvassa 29 esitetyn siirrinmoduulin PI-kaavion instrumentoinnin määrittelyyn on tehty tiettyjä oletuksia, joita ovat: Järjestelmän eropaineen riittävyys lauhteenpoistoon, höyrypuolen paine ei ole huomattavasti suurempi kuin lämminvesipuolen paine, sekä että sisään tuleva kylläinen prosessihöyry on riittävän kuivaa säätöventtiilille. Jäljempänä taulukossa 3 on esitetty mitoitukseen käytetyt prosessin suunnitteluarvot.

Konwellin suorittaman markkinatutkimuksen perusteella 600 kW perusyksikön hintakatsoksi arvioitiin 25 000 €. Tällöin lopputuote on edelleen ns. ”plug-and-play” -mallinen, eli ei vaadi asiakkaalta lisähankintoja käyttöönottoa varten. Verrattaessa Vahteruksen hankintahinnaltaan arvokkaampaa hitsattua siirrintä muihin levylämmönsiirrintyyppeihin on hinnassa ehdottomasti huomioitava hitsatun rakenteen tuomat edut, joita ovat mm. siirrinmoduulin kestävyys erilaisissa prosessiolosuhteissa, huoltovapaus sekä kompakti koko. Työssä haluttiin käsiteltävän myös lämmönsiirrinmoduuliin saatavana olevia lisävarusteita optioksi erilaisille prosesseille. Esimerkiksi nk. siirtimen sakkaus, eli lauhteenpoiston riittämättömyys, nousi suunnittelun alkuvaiheessa haasteelliseksi ilmiöksi. Tätä on käsitelty tarkemmin säätöventtiilin mitoituksen ja lauhteennostimen osioissa. Tuotteesta ei pyritty tekemään heti prototyypistä lähtien täydellistä, sillä hintakilpailun lisäksi höyryjärjestelmissä esiintyy usein käyttöönoton jälkeen olosuhteita, joita ei ole voitu tai osattu ennakoita.

7.1 Asiakasprojektin mitoitusarvot

Valitun lämmönsiirtimen (taulukko 3) nimellisteho on 600 kW, ensiöpuolen venttiileiden ja lauhteenpoistimien kokoluokat on mitoitettu kylläiselle 6 bar(a) @ 158,84 °C @ 1200 kg/h höyryvirtaukselle ja toisiopuoli 9 bar(a), $T_1=40$ °C, $T_2=70$ °C, 15 000 kg/h lämminvesivirtaukselle käyttäen tässä insinöörityössä esiteltyjä laskentatapoja ja -ohjelmia.

Taulukko 3: Lämmönsiirrinmoduulin suunnitteluarvot

Lämmönjakokeskuksen mitoitus (höyrysiirrin)			
Valmistaja		Konwell	
Malli		Vahterus PSHE3HH-32-1-1	
Teho	kW	600	
		ENSIÖ (HÖ)	TOISIO (LV)
Virtaama		1200 kg/h	4,17 l/s
Lämpötila	°C	Höyry 6 bar(a)	+40...70
Painehäviö	kPa	40	40
Suunnittelupaine	bar(g)	-1...16	8
Suunnittelulämpötila	°C	200	120
Virtaava Aine		Höyry 2,5...5 bar(g)	Vesi
Rakenneaine		CS	AISI 316
Tilavuus	l	-	-

7.1.1 Höyryputken koko

Höyryputken nimelliskokoa tarkasteltiin Ari MyValve -mitoitushjelmiston suosituksen lisäksi myös Gestra AG:n kylläisen höyryputken nimellishalkaisijan laskuohjelmalla osoitteessa

http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html?calc=3_1

(taulukko 4).

Taulukko 4: Mitoitusohjelmasta saadut raja-arvot höyryputken nimellishalkaisijalle

Putken halkaisija DN - Kylläinen höyry				
Höyryn virtausmäärä	1200	kg/h	1200	kg/h
Höyryn paine	6	bar(a)	6	bar(a)
Höyryn virtausnopeus	20	m/s	40	m/s
Ominaistilavuus	0,32	m³/kg	0,32	m³/kg
Putken halkaisija DN	81,79	mm	57,83	mm

Tuloksen perusteella putkikooksi valitaan standardiputki DN80. Lopullinen virtausnopeus voidaan tarkistaa Gestra AG:n putkiston virtausnopeuden laskentaohjelmassa osoitteessa

http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html?calc=2_1

(taulukko 5).

Taulukko 5: Mitoitusohjelmasta saatu taulukko höyryn virtausnopeudelle DN80 putkessa

Virtausnopeus ja tilavuus - Kylläinen höyry		
Höyryn virtausmäärä	1200	kg/h
Höyryn paine	6	bar(a)
Höyryputken halkaisija DN	80	mm
Ominaistilavuus	0,315	m³/kg
Virtausnopeus	20,94	m/s

Putkikoolla DN80 höyryn virtausnopeudeksi saadaan n. 21 m/s, ja on täten sallitussa raja-arvossa maks. 25 m/s ennen säätöventtiiliä. Standardiputkella DN65 höyryn virtausnopeudeksi saadaan n. 32 m/s, joka on yleisesti höyryjärjestelmälle suositeltujen, 20 - 40 m/s raja-arvojen sisällä. Pienempi putkikoko aiheuttaisi kuitenkin suurella todennäköisyydellä säätöventtiilin ennenaikaista kulumista, aiheuttaen huoltoseisakin ja lisäten kunnossapitokustannuksia. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 94)

7.1.2 Lauhdeputken koko

Lauhdeputkisto mitoitetaan saatavilla olevalle tuorehöyrymäärälle 1200 kg/h "worst-case-scenario" -periaatteen mukaisesti. Todellista lämmönsiirtoprosessista syntyvää lauhteen määrää voidaan tarkastella Gestra AG:n mitoitusohjelmassa osoitteessa http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html?calc=5_1 (taulukko 6).

Taulukko 6: Mitoitusohjelmasta saatu taulukko syntyvälle lauhteen määrälle lämmönsiirtimessä

Lauhedemäärä kylläisen höyryn lämmönsiirtimessä - Lämmitettävän väliaineen mukaan		
Lämmitettävän väliaineen virtausmäärä	15000	kg/h
Ominaislämpö	4,179	kJ/kgK
Sisääntulolämpötila T1	40	°C
Ulostulolämpötila T2	70	°C
Höyryn paine	6	bar(a)
Vaadittava lämpömäärä	1880,55	kJ/h
Vaadittava lämpöteho	522,4	kW
Höyrystymislämpö	2085	kJ/kg
Lauhteen virtausmäärä	901,9	kg/h

Tarvittu lauhdeputken halkaisija mitoitetaan Gestra AG:n mitoitusohjelmalla osoitteessa <http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html?calc=7> (taulukko 7).

Taulukko 7: Mitoitusohjelmasta saatu taulukko lauhdeputken halkaisijalle

Putken halkaisija DN ja paisuntahöyryn määrä lauhteenpoistimen jälkeen		
Lauhteen virtausmäärä	1200	kg/h
Lauhteenpoistimen tulopaine P1	6	bar(a)
Lauhteenpoistimen lähtöpaine P2	1	bar(a)
Lauhteen alijäähtyminen	0	K
Lauhteen alijäähtyminen	-0,04	kJ/kg
Höyrystymislämpö P2	2257,9	kJ/kg
Kiehuvan lauhteen entalpia P1	670,4	kJ/kg
Kiehuvan lauhteen entalpia P2	417,5	kJ/kg
Paisuntahöyrymäärä	134,4	kg/h
Paisuntahöyryn osuus	11,2	%
Paisuntahöyryn tilavuus	227,7	m³/h
Vaadittu ulostuloputken DN (20m/s)	63	mm

Laskentaohjelma huomioi syntyneen paisuntahöyrymäärän, ja mitoittaa lauhteenpoistimen jälkeisen putkikoon tämän mukaisesti. Lauhdeputken kooksi valitaan DN65.

7.2 Perusmallin höyrylämmönsiirrinmoduulin PI-kaavio, osalista ja hinnoittelu

Insinööriyön tuloksena tehtiin kuvan 29 mukainen PI-kaavio perusmallin lämmönsiirtimestä helpottamaan yksikön lopullista suunnittelutyötä ja tarjousten tekemistä. Moduulin toiminta on kuvattu kappaleessa 7.3.

(Kuva lämmönsiirrinmoduulin PI-kaaviosta on poistettu julkaistavasta versiosta.)

Kuva 29: Insinööriyön tuloksena suunnitellun, vakiomallin lämmönsiirrinmoduulin PI-kaavio

Osalista ja myyntihinta(/kpl) kuvassa 29 esitetyille lämmönsiirtimen PI-kaaviolle:

1. Istukkasulkuventtiili Ari Armaturen Faba fig. 22.046 DN80 PN16
 - materiaali EN-JS1049
2. Haponkestävä pallosulkuventtiili Alfa Valvole 10N DN50 PN40
 - materiaali ASTM A479 F316
3. Termostaattinen lauhteenpoistin Gestra MK45-1 DN15 PN40
 - materiaali EN 1.0460
4. Uimurilauhteenpoistin Gestra UNA 45H Duplex DN40 PN40 AO8
 - runkomateriaali EN 1.0460, kansi EN 5.3103
5. Näkölasi Gestra VK14 DN40 PN16
 - materiaali EN-JL1040
 - lauhdeveden pH maks. 9
6. Takaiskuventtiili Gestra Disco RK76 DN40 PN16
 - materiaali EN 1.4107
7. Lianerotin Ari Strainer 22.050 DN80 PN16
 - materiaali EN-JS1049
8. Istukkasäätöventtiili Ari Armaturen Stevi 23.470 DN50 PN16
 - materiaali EN-JS1049
 - Ari FR2.2 230 V jousipalautteisella sähköisellä toimilaitteella
 - i. sulkuvoima 7 bar
 - mitoituslehti liitteessä 3
9. Mekaaninen paineenmittauspiste
 - vaimennettu painemittari MGS18, G1/2", 0...10 bar, Ø100mm, AISI 316
 - painemittariventtiili DIN 16270 Type A, G1/2", EN 1.0460

- vesilukkoputki DIN 16282 Type D, BW 20x2,6mm / G1/2", EN 1.0345
 - FE-tiiviste, M20x1,5, 2 kpl
10. Levylämmönsiirrin Vahterus PSHE 3HH-32/1/1
- mitoituslehti liitteessä 2
11. Mekaaninen lämpötilanmittauspiste
- lämpömittari TB8, 0...120 °C, Ø100mm, G1/2"
 - W11 suojatasku, 100mm, AISI 316, G1/2"
12. Pt100 lämpötila-anturi Aplisens CT-GN1-G1/2"-Pt-A/4
- asennuspituus 100mm
 - sis. suojataskun, AISI 304
13. Ylipainevaroventtiili Ari Armaturen Safe 25.901 DN50/80 PN40
- materiaali EN-JS1049
14. Istukkasulkuventtiili Ari Armaturen Faba fig. 22.046 DN65 PN16
- materiaali EN-JS1049
15. Istukkasulkuventtiili Ari Armaturen Faba fig. 22.046 DN15 PN16
- materiaali EN-JS1049
16. Lianerotin Ari Strainer 22.050 DN15 PN16
- materiaali EN-JS1049
17. Istukkasulkuventtiili säätökeilalla Ari Armaturen Faba DN50 PN16
- materiaali EN-JS1049
 - varustettuna säätökeilalla
18. Lämpötilasäädin Ero Electronic PKC
- 100/240 V, 50/60 Hz, 3-pisteohjaukselle
19. Takaiskuventtiili Gestra Disco RK76 DN15 PN40
- materiaali EN 1.4107
 - sis. DN15 kauluslaipan asennusta varten
20. Termostaattinen lauhteenpoistin MK45-2 DN15 PN40
- materiaali EN 1.0460
 - ilman ja kaasujen poisto

Laitteiden hinta yht. *(Hinta on poistettu julkaistavasta versiosta.)*

Koneikon rakennus, putkitustyö ja CE-tarkastus *(Hinta on poistettu julkaistavasta versiosta.)*

Moduulin kokonaishinta *(Hinta on poistettu julkaistavasta versiosta.)*

7.3 Perusmallin höyrylämmönsiirtimen toimintakuvaus

(Lämmönsiirrinmoduulin toimintakuvaus on poistettu julkaistavasta versiosta.)

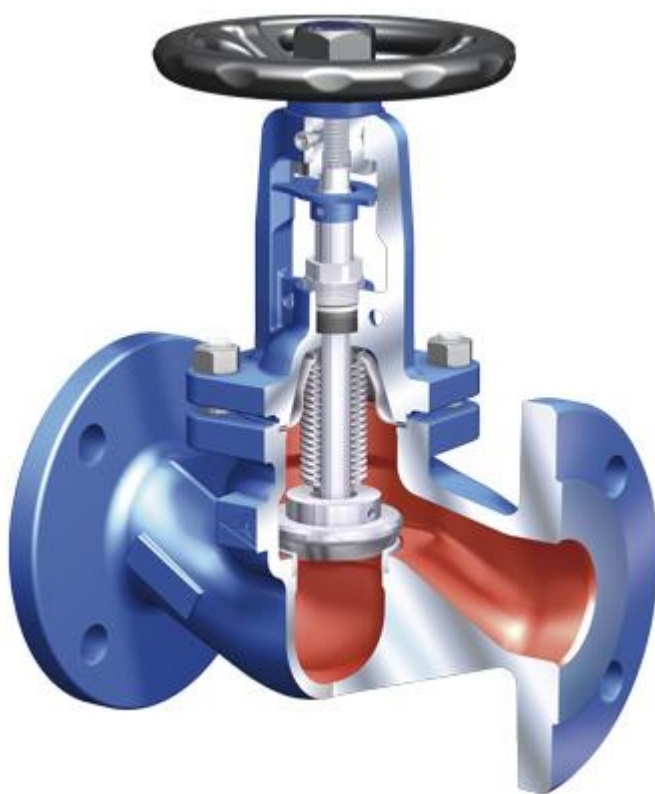
7.4 Koneikko

Koneikoksi kutsutaan metallirunkoa, jolle lämmönsiirrin asennetaan, putkitetaan ja instrumentoidaan. Levylämmönsiirtimen tapauksessa koneikkorakenne on hyvin yksinkertainen. Esimerkiksi rakenneteräksestä S235 valmistettu I-palkki hitsataan tai pultataan lattialla makaavaksi rakenteeksi. Vahteruksen lämmönsiirtimet toimitetaan valmiilla asennusjalalla, joka pultataan kiinni koneikkoon. Kun lämmönsiirtimen asennuskohta ja tarvittava asennuskorkeus on määritetty, liitetään lauhteenpoistojärjestelmä lämmönsiirtimen vaipan alalaippaan ja höyrypuolen järjestelmä vaipan ylälaippaan. Venttiileiden, poistimien, ym. laipat ja rungot eivät ole suunniteltu kannattelemaan ulkoista kuormaa, joten putkitusta kannattelemaan on runkoon hitsattava tai pultattava vielä erilliset tukipalkit instrumentoinnin kannattelemiseksi. Tällöin myös käytönaikaiset vesi- ja paineiskut sekä venttiileiden avautumisesta johtuvat nopeat massavirtamuutokset eivät riko laitteita ja rakenteita. Huomioitavaa on myös, että lämmönsiirtimeen tai instrumentointiin ei saa ripustaa ulkoista kuormaa, eikä niitä tule käyttää esimerkiksi nostoliinojen kiinnityskohtina. Nostokoukut hitsataan koneikon päärunkopalkkeihin ja sijoitetaan niin, että moduuli ei pääse kippaamaan liinoilla tai ketjuilla nostettaessa. Tavallisesti koneikkorakentaja tekee erilliset nostokohdat myös trukkien nostopiikkejä varten.

7.5 Instrumentointi

7.5.1 Sulkuventtiili

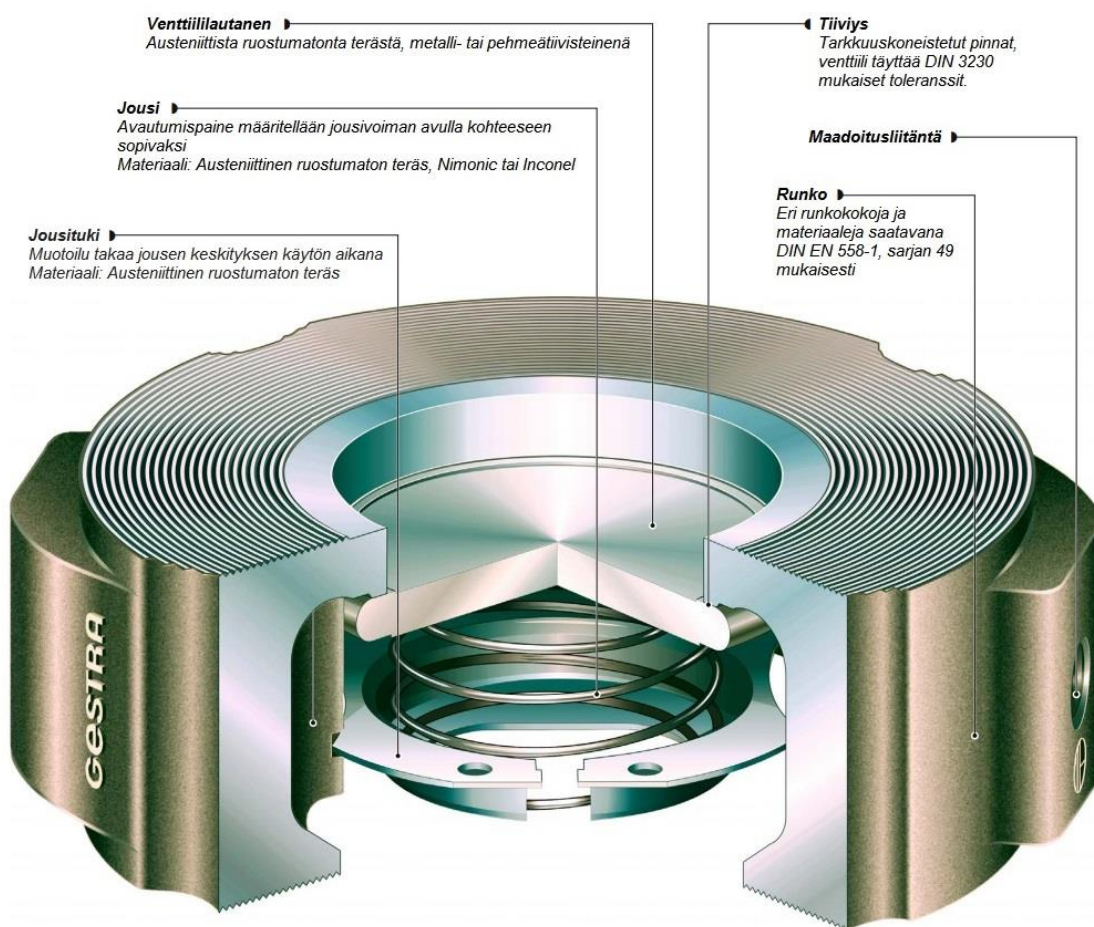
Sulkuventtiilin tehtävänä on pysäyttää virtauksen kulku putkistossa. Erilaisia sulkuventtiilityyppejä ovat mm. pallo-, luisti-, läppä- sekä istukkaventtiili, joista viimeisintä käytetään tyypillisesti höyry- ja lauhdejärjestelmissä (kuva 30). Vaikka toimintaperiaate venttiileissä on sama, eli joko sulkea tai avata virtaus putkistossa, tuo fyysistä eroa venttiileiden toimintaan sulkuelimen rakenne. Höyryventtiileissä paine, lämpötila ja virtausnopeus ovat tyypillisesti suuria, esimerkiksi luokkaa 40 bar, 250 °C ja 40 m/s. Tästä johtuen höyry asettaa vaatimuksia esimerkiksi venttiileiden tiivistemateriaaleille, materiaalivahvuudelle ja virtausominaisuuksille. Huomioon otettavia asioita ovat venttiilirakenteen kuristavuus kavitointia ja eroosiota silmällä pitäen sekä putkiston paineen vaikutus käsikäyttöisen venttiilin operoitavuuteen.



Kuva 30: Ari Armaturen Faba -paljettiivisteinen istukkasulkuventtiili käsipyörällä (ARI-FABA-Plus istukkasulkuventtiili, tekninen esite)

7.5.2 Takaiskuventtiili

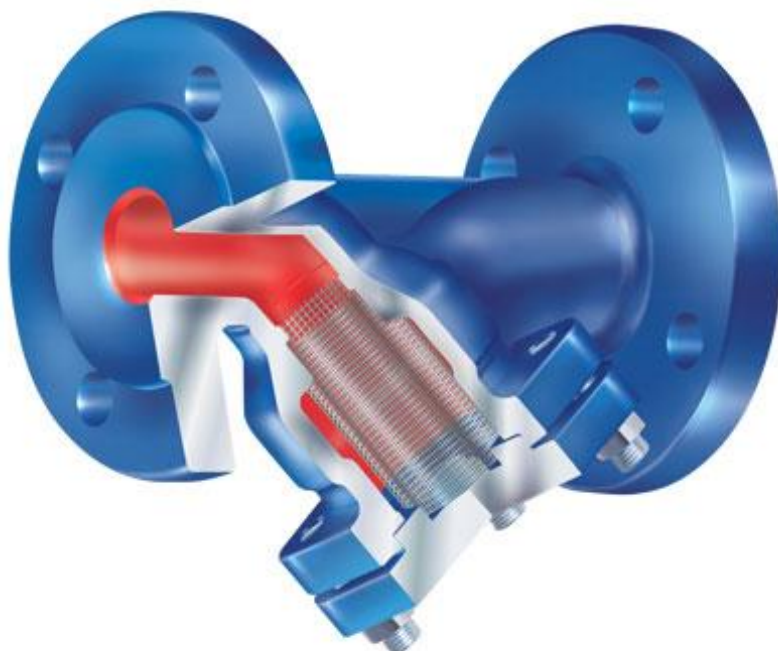
Takaiskuventtiili on venttiilityyppi, jonka sulkuelin sallii virtauksen vain määriteltyyn putkistosuuntaan. Mikäli toisiopuolen paine kasvaa ensiöpuolta suuremmaksi venttiili sulkeutuu automaattisesti. Mikäli virtaus on turbulентtista tai sykkivää, voidaan takaiskuventtiili varustaa kuvassa 31 esitetyllä vastusjousella, joka estää venttiililautasen hakkautumista ja pitopintojen vaurioitumisen. Takaiskuventtiileitä käytetään esimerkiksi silloin, kun järjestelmän höyrypuolelta poistetaan lauhdetta lauhdejärjestelmään niin, että eropaine vaihtelee negatiivisen ja positiivisen välillä. Ilman takaiskuventtiiliä lauhde pääsisi tällöin takaisin höyryjärjestelmään.



Kuva 31: Gestra Disco RK -lautasmallinen jousella varustettu takaiskuventtiili

7.5.3 Lianerotin

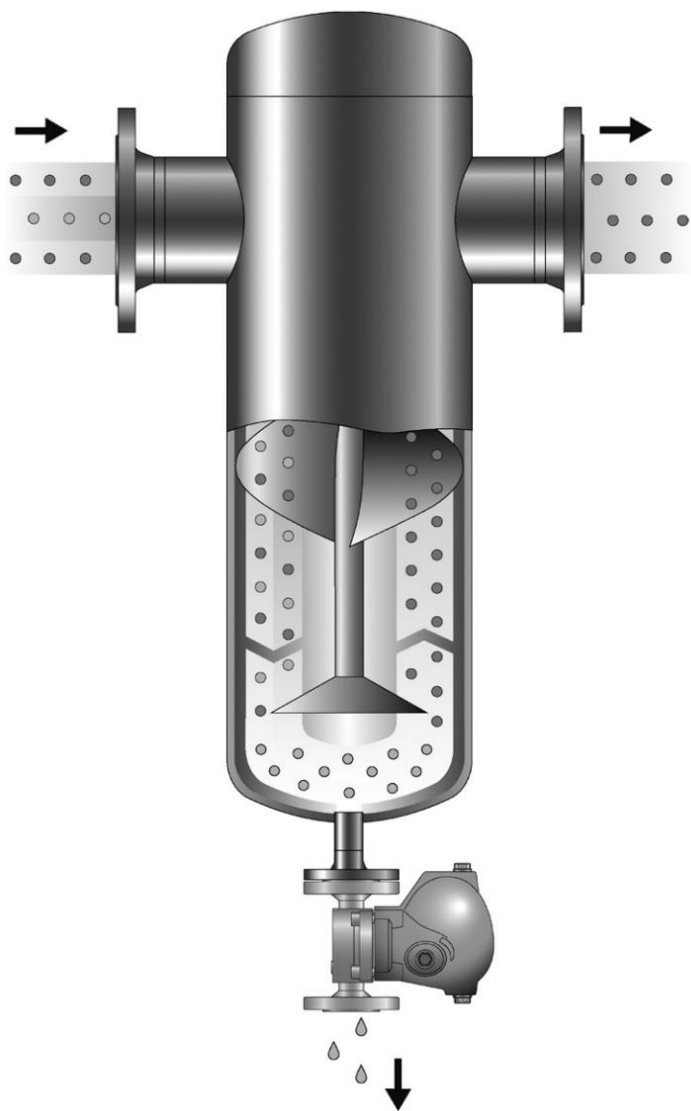
Lianerotin on putkistoon liitettävä laite, jonka sisälle nk. koriin asennettu sihti suodattaa epäpuhtauksia prosessiväliaineesta. Tyypillisiä syitä venttiileiden vuotoihin ja laitteiden rikkoontumiseen ovat höyryjärjestelmän ikääntymisestä tai huonosta prosessiveden laadusta aiheutuvan korroosion vaikutuksesta järjestelmään pääsevät pienet likapartikkelit, asennustöiden jäljiltä putkistoon päässyt metalli, hiekka, yms. Höyryjärjestelmän venttiilit ovat tavallisesti metallitiivisteisiä. Tästä syystä pienetkin kiinteät partikkelit aiheuttavat painaumia ja naarmuja tiivistepintoihin venttiileitä operoitaessa. Tällä tavoin syntynyt pieni vuoto kasvaa ajan myötä virtauksen aiheuttaman eroosion vaikutuksesta, ja venttiilin pitopinnat joudutaan joko huoltamaan tai koko venttiili uusimaan. Yhtä lailla esimerkiksi paineenalentimien sisällä kulkevat pienet paineentasausyhteet voivat tukkeutua epäpuhtauksista, joka johtaa laitteen toimimattomuuteen. Lämmönsiirrinmoduulin yhteyteen valittu, kuvassa 32 nähtävä Ari Armaturenin lianerotin on varusteltu standardisihdillä, jonka reiän halkaisija on 1 mm. Hienosihtejä on saatavana 0,25 mm reikähalkaisijaan saakka, kasvattaen samalla lianerottimen aiheuttamaa painehäviötä. Lianerottimen painehäviö kasvaa myös sihdin likaantumisen myötä, puhdistus tulisi suorittaa vähintään 1 - 2 kertaa vuodessa kohdejärjestelmästä riippuen.



Kuva 32: Ari Armaturen Fig. 050 -tyyppisen lianerottimen halkaisukuva (ARI-Strainer, tekninen esite)

7.5.4 Pisaranerotin

Höyryn seassa olevat vesipisarat aiheuttavat helposti eroosioaurioita esimerkiksi säätöventtiilin sisällä sulkupintoihin, jossa väliaineen virtausta kuristetaan ja virtausnopeus kasvaa nopeasti. Pisaranerotin on laite, jonka tehtävänä on kuivata kylläinen höyry irrottamalla sekoittuneena olevat vesipisarat esimerkiksi kairatekniikkaa hyväksikäyttäen (kuva 33). Pisaranerotinta käytetään tyypillisesti ennen säätö- ja paineenalennusventtiileitä silloin kun kylläisen höyryn jälkikosteus nousee yli 6 % tasolle. Rotaatiovaikutuksen tuomana lisäetuna on myös epäpuhtauksien erottuminen prosessiväliaineesta, ja laitetta käytetäänkin toisinaan lianerottimena hankalissa prosessikohteissa. (Konwell, yleiskurssi LABRA 2017, dia 132)



Kuva 33: Gestra TD -höyrynkuivaimen toimintaperiaate (Gestra Steam Drier/Steam Purifier TD, tekninen esite)

7.5.5 Näkölasi

Näkölasi on lauhteenpoistimen tulopuolelle asennettava virtauksen tarkkailuun tarkoitettu laite. Gestra VK näkölasin erikoisominaisuutena on sisälle asennettu ulokekieli (kuva 34), joka luo yhdessä tulo- ja lähtöpuolen pinnankorkeuseron kanssa oikein toimivan lauhteenpoistimen yhteydessä ”kuplan” kielen taakse. Muita virtausosoitintyyppejä ovat virtauksen mukana pyörivä ratas ja reunalta saranoitu läppä. Näkölasi on nopea, helppo ja pysyvä tapa tarkkailla lauhteenpoistimien kuntoa järjestelmässä ilman erillisiä mittalaitteita ja teknistä osaamista. Mahdollisia virhetiloja ovat näkölasin täyttyminen prosessiväliaineesta, jolloin lauhteenpoistin on hetkellisesti kiinni tai jumiutunut kiinni-asentoon. Vastaavasti mikäli näkölasi on tyhjä tai havaitaan tuorehöyryvirtaus, on lauhteenpoistin jumiutunut auki-asentoon. (Konwell, Yleiskurssi LABRA 2017, diat 149 – 155).



Kuva 34: Gestra VK14 -näkölasi (Gestra Vaposcope Sightglasses VK 14 / 16, tekninen esite)

8 Päätelmät

Työn suorituksen aikana tutustuttiin yleisesti voimalaitostekniikkaan, höyry- ja lauhdejärjestelmiin, sekä niiden yksittäisiin laitteisiin osana laajempaa kokonaisuutta. Suunniteltiin perusmallin lämmönsiirrinmoduuli, josta tehtiin PI-kaavio ja hinnoiteltu osalista. Lämmönsiirrinmoduulin 3D-mittakuvan, koneikon rakentamisen, putkitus- ja kokoamistyön sekä CE-vaatimustenmukaisuustarkastuksen suoritti tehtyjen tarjouskyselyiden perusteella Steel Master Finland Oy. Työn referenssimoduulit toimitettiin loppuasiakkaalle toukokuun alussa 2017.

Tärkeimpänä asiana insinööriyössä opittiin ymmärtämään hitsattujen höyry-vesilämmönsiirtimien mitoitus väliaineiden lähtötietojen perusteella. Väliaineparametrit määräävät tarvittun lämmönsiirtotehon, siirtimen kokoluokan ja höyryjärjestelmän lämpötilaan ja paineeseen liitännäisen, lämmitykseen tarvittavan tuorehöyrymäärän. Saadun höyrymäärän perusteella opittiin mitoittamaan höyrysäästöventtiili, jonka nimelliskoko vaihtelee esimerkiksi nimellisteholtaan 600 kW:n lämmönsiirtimellä tyypillisesti välillä DN40...DN80. Höyrymäärän perusteella opittiin myös lauhteenpoistimen kapasiteetin ja nimelliskoon valinta. Kun nämä kolme moduulin pääkomponenttia saatiin määritettyä, opittiin myös putkiston ja instrumentoinnin DN-kokojen mitoitus suositeltujen virtausnopeusarvojen mukaisiksi, minkä jälkeen lämmönsiirrinmoduulista osattiin antaa hinta-arvio viralliselle tarjoukselle riittävällä tarkkuudella.

Laitteiden kokoluokan ja kohdejärjestelmän instrumentointivaatimusten määrittämisen jälkeen saadaan selvitettyä myös moduulin suurpiirteiset päämitat. Koneikkokoko ei tavallisesti pysy vakiona, johtuen pääasiassa erikokoisten venttiileiden asennuspituuksista ja kohdejärjestelmien tilavaatimusten muutoksista. Kahden vuoden aikana 5:stä asiakastiedusteluihin suunnitellusta moduulista yksikään ei vastannut lopullisilta rakenne- ja liitosmitoiltaan toisiansa. Yleisimpänä ongelmana oli siirrinmoduulin kuljetus asennuskohteeseen erilaisia käytäviä pitkin, taikka ikkunoista nostamalla. Edellä mainittujen syiden johdosta insinööriyön päätteeksi todettiin, että lämmönsiirtimeen tehoon perustuvien, valmiiksi instrumentoitujen perusmallin lämmönsiirrinmoduuleiden rakentaminen Konwellin varastoon ei ole kannattavaa.

Vastoin varastomallien rakentamisen kannattamattomuutta, insinööriyön tuloksena saatuja PI-kaavioita, joista perusversio esiteltiin kappaleessa 7.2, voidaan hyödyntää tule-

vissa projekteissa suorasti sellaisenaan. Suunnittelijan tulee kuitenkin ymmärtää höyryprosessia ja -laitteita niin, että hän osaa huomioida esimerkiksi hydrostaattisen paineen hyödyntämisen siirtimen lauhteenpoistossa, tyhjennyslinjojen tilavaatimukset epäpuhtauksia silmällä pitäen, ohituslinjojen suunnittelun niin, että ne eivät jää vesilastiin, sekä ilmauslinjojen putkipituuksien jatkamisen lauhtumisvaikutuksen aikaansaamiseksi. Perumallin moduulin lisäksi Oy Konwell Ab:n käyttöön tehtiin PI-kaaviot ja osalistat lauhteenostinpumppujärjestelmälle, tulohöyryn kuivausjärjestelmälle, sekä toisiopuolen sekoitukselle. Nämä lisäosat voidaan liittää suoraan osaksi perusmallin PI-kaaviota.

Työn aikana tutustuttiin myös erilaisiin höyryjärjestelmän laitteisiin, joita käsiteltiin tässä insinöörityössä lämmönsiirtimen instrumentointina. Samoja laitteita käytetään erilaisissa höyryjärjestelmissä myös monissa muissa kohteissa ja tilanteissa. Tutustuminen lämmönsiirrinmoduulin instrumentointiin, ja sitä kautta prosessissa esiintyviin fysikaalisiin ilmiöihin, syvensi höyryjärjestelmien ymmärtämystä insinöörityön edetessä huomattavasti.

Työstä tehtiin asiakkaita varten myös n. 30 min. mittainen lämmönsiirrinwebinaari, eli verkossa järjestetty seminaari, joka pidettiin Konwellin toimistolta Helsingistä marraskuussa 2016. Vetäjänä toimi Konwellin Länsi-Suomen aluepäällikkö Jussi Blom. Webinaari on katsottavissa tallenteena osoitteessa

<http://www.konwell.fi/fi/koulutukset/webinaarit/801-konwell-webinaari-levylammonsiirtimet-hoyryprosessissa>

Lähteet

Oy Konwell Ab. 2017. Yleiskurssi LABRA. Höyry- ja lauhdejärjestelmien koulutusmateriaali. MS Powerpoint -esitelmä.

Gestra AG. 2005. Condensate Manual. 9th revised edition. Bremen: Gestra AG.

Vahterus Oy. 2014. Steam Manual. PSHE use in steam processes and powerplants. PDF-dokumentti. Edition 1.1., 8/2014.

Vahterus Oy. 2015. Levylämmönsiirtimien koulutusmateriaali. MS Powerpoint -esitelmä.

Sondex Tapiro Oy Ab. 2013. Lämmönsiirtimien koulutusmateriaali. MS Powerpoint -esitelmä.

Tranter International. 2009. Heat exchanger training material. MS Powerpoint -esitelmä.

Saviluoto, Lauri. 2014. Levylämmönsiirtimen levyparin välisen virtauksen ja lämmönsiirron kehittyminen sekä lämpötilan muutos. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Ari Armaturen GmbH & Co. KG. Edition 06/2015. Pneumatic actuator ARI-DP. Data Sheet 000003-2. <<http://www.ari-armaturen.com/appl/files/tb/files/000003-2.pdf>>. Luettu 6.5.2017

Ari Armaturen GmbH & Co. KG. Edition 07/2016. Electric actuator ARI-PREMIO®. Data Sheet 000001-2. <<http://www.ari-armaturen.com/appl/files/tb/files/000001-2.pdf>>. Luettu 6.5.2017.

Ari Armaturen GmbH & Co. KG. Edition 04/2016. ARI-Strainer. Data Sheet 050001-2. <<http://www.ari-armaturen.com/appl/files/tb/files/050001-2.pdf>>. Luettu 6.5.2017.

Ari Armaturen GmbH & Co. KG. Edition 04/2016. ARI-FABA®-Plus. Data Sheet 040005-2. <<http://www.ari-armaturen.com/appl/files/tb/files/040005-2.pdf>>. Luettu 6.5.2017.

Ari Armaturen GmbH & Co. KG. 2017. MyValve. Verkkomitoitusohjelma <<http://www.ari-armaturen.com/service/myvalve/>>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. Edition 03/2017. Ball Float Steam Trap UNA 45, UNA 46, UNA 46A. Data Sheet 819345-03. <http://www.gestra.com/files/doc/DBL_819345_03_UNA45-UNA46-UNA46A_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. Edition 11/2009. Steam Traps MK 45-1, MK 45-2, MK 45A-1, MK45A-2. Data Sheet 810317-05. <http://www.gestra.com/files/doc/DBL_810317_05_MK45-1-MK45-2-MK45A-1-MK45A-2_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. Edition 05/2004. Condensate Drain Valve AK 45. Data Sheet 810456-02. <http://www.gestra.com/files/doc/DBL_810456_02_AK45_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. Edition 09/2011. Steam-Powered Condensate-Return Unit KH. Data Sheet 810488-02. <http://www.gestra.com/files/doc/DBL_810488_02_KH_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. Edition 04/2016. Steam Drier/Steam Purifier TD. Data Sheet 819480-00. <http://www.gestra.com/files/doc/DBL_819480_00_TD_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. Edition 09/2015. Vaposcope Sightglasses VK 14, VK 16. Data Sheet 818475-03. <http://www.gestra.com/files/doc/DBL_818475_03_VK14-VK16_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. 2017. Self-Acting Temperature Controllers. System Clorius. Verkkodokumentti. <http://www.gestra.com/files/clorius_en.pdf>. Luettu 6.5.2017.

Gestra AG. 2017. CALCUquick. Verkkomitoitusohjelma. <<http://www.gestra.com/service-support/calcuquick-calculate-parameters.html>>. Luettu 6.5.2017.

Asiakasprojektin lämmönsiirrinmoduulin 3D-malli

(Liitteen kuva lämmönsiirrinmoduulin 3D-mallista on poistettu julkaistavasta versiosta.)

Kuva: Konwellin suunnittelema ja Steel Master Finlandin valmistama 3D-malli lämmönsiirrinmoduulista Vahteruksen 600kW levylämmönsiirtimellä

Vahterus -levylämmönsiirtimen mitoituslehti

VAHTERUS

- PLATE & SHELL - ® Täysin hitsattu levylämmönsiirrin

Lauhdutin

Pvm

Tarjousnumero

Tekijä

Asiakas

Ref:

Projekti

Laitenimi/no.

26.8.2016

B16-15-3097

VKe

Konwell

Tyyppi PSHE 3HH-32/1/1

Lämpötekninen mitoitus:

Teho

Lämmönsiirtopinta-ala

Logaritminen lämpötilaero

K-arvo

Likaantumiskerroin

Ylimitys / -Lämmönsiirtopinta %

kW

m²

°C

W/m²K

m²KW

600

2.3

102.2

2559

0.00014050

>20

Levyypuoli

(Kylmä)

Sisääntulolämpötila

Ulostulolämpötila

Höyrystyslämpötila

Lauhtumislämpötila

°C

°C

°C

°C

40.0

70.0

Vaippapuoli

(Kuuma)

158.9

158.9

158.9

Massavirta

Painehäviö

Nestetilavuus

kg/s

kPa

dm³

4.8

33.0

2.5

Virtausaine

Dynaaminen viskositeetti

Tiheys

Ominaislämpökapasiteetti

Lämmönjohtavuus

Water 55°C

kg/ms

kg/m³

J/kgK

W/mK

0.000508

985.4

4184

0.6481

Nopeus

m/s

0.3

39.3

5.9

Yhteet:

Levyypuoli / Sisään

Levyypuoli / Ulos

Vaippapuoli / Sisään

Vaippapuoli / Ulos

Koko

50

50

50

25

(DN)

1

1

1

1

Luku-

määrä

2.258

2.258

42.59

0.5413

Rakenne:

Päätytyyppi

Massa (kuivana)

Asento

Rakennehyväksyntä

Suunnittelupaine

Testipaine

Suunnittelulämpötila

Tuenta

kg

bar(g)

bar(g)

°C

99

Vaaka-asento

PED

-1/16

acc to code

0/200

Päätyjalat (Ruuvattava Fe37B)

Content: Not dangerous

Category: I

Module: A

Inspector: Vahterus Oy (CE)

Materiaalit:

Levy materiaali

Vaippamateriaali

Virtausohjainmateriaali

Pääty-yhteet

Vaippayhteet/ Sisään

Vaippayhteet / Ulos

Pintakäsittely (Vaippa)

- Ruostumatonta terästä

- Hiiliateräosat

AISI 316L 0.7mm

Carbon Steel

EPDM

WN-RF-Flange DN 50 PN25-40 1.4404 EN10222-5

WN-RF-Flange DN 50 PN25-40 C22.8 EN10222-2

WN-RF-Flange DN 25 PN25-40 C22.8 EN10222-2

Lasikuulapuhallus

White RAL 9010

Performance is conditioned on the accuracy of customer's data and customer's ability to supply equipment and products in conformity therewith.

Kuva: Vahterus -lämmönsiirtimen mitoituslehti. Levylämmönsiirtimet mitoitetaan asiakkaan antamien prosessitietojen mukaisesti

Säätöventtiilin mitoituslehti Ari MyValve -ohjelmasta



ARI-myValve® - Version 3.10
ARI-Control Valves STEVI-Calculation

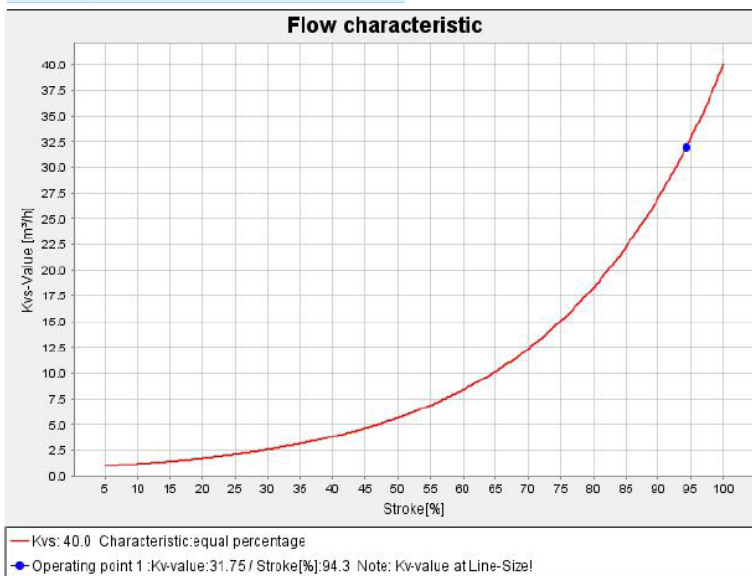
Project data				
Project-No.	project			
Description				
Customer				
Contact				
Prepared by	lauri.jeskanen			
Order				
TAG-No.	Lopputyön-liite			
Note	AriMyvalve saatoventtiilin mitoituslehti			
Media and process data	Operating-pt1	Operating-pt2	Operating-pt3	Unit
Media selection	Saturated steam			
Temperature	158.923			°C
Specific volume[u]	0.3148			m³/kg
Isentropic exponent [κ]	1.13			
Inlet pressure [p1]	5.0			bar(g)
Outlet pressure [p2]	4.5			bar(g)
Mass flow [W]	1200.0			kg/h
Result data	Operating-pt1	Operating-pt2	Operating-pt3	Unit
Kv-value	32.64			
Cv-value	38.07			
Stroke position[%]	94.25			
DN necessary	28.47			mm
Outlet velocity	58.35			m/s
Mach number	0.1262			
Flow condition				
Sound pressure level in 1m	82.31			dB(A)
Insulation	74.31			dB(A)
Sound pressure calculation acc. to DIN EN 60534-8-3 2001.				
Pressure recovery factor[FL]	0.897809			
Valve form factor[FD]	0.390864			
Valve factor[XT]	0.672573			
Correction factor for Kvs	1.25			
Selected valve				
Type:	ARI-STEVI 23470	Nominal diameter:	DN 50	
Construction type:	Straight through	Plug:	Parabolic plug with soft seat	
Connection	flange	Kvs:	40.0	
Function :	Control	Flow characteristic:	equal percentage	
Material:	EN-JS1049	Flow:	Flow in open direction	
Pressure:	PN 25			
Design:	Standard			
Stem sealing:	PTFE-V-ring unit			

Pipe data	Nominal	Nominal	Di[mm]	s[mm]	Speed	Unit
Pipe D1	80	PN 25	82.5	3.2	19.65	m/s
Pipe D2	80	PN 25	82.5	3.2	21.43	m/s

Kuva: Ari Armaturen MyValve -mitoituslehti, sivu 1/2. Säätöventtiilit mitoitetaan lämmönsiirtimeen mitoituslehden ja prosessiarvojen mukaisesti



ARI-myValve® - Version 3.10
ARI-Control Valves STEVI-Calculation



Product data	
Productkey	17221900786
Article code	234700050G1
Type	ARI-STEVI 23470
Designation	Control valve - straight through with flanges and shaft guided plug
Material	EN-JS1049
Pressure	PN 25
Form	Straight through
Connection	flange
Nominal diameter	DN 50
Function	Control
Flow characteristic	equal percentage
Kvs	40.0
Stem sealing	PTFE-V-ring unit
Plug	Parabolic plug with soft seat
Seat	Screwed seat
Design	Standard
Seat diameter [mm]	50
Stem Thread	M12

At selection of the valve, observe following factors:

Material resistance, limits for nominal diameter and temperature

Kuva: Ari Armaturen MyValve -mitoituslehti, sivu 2/2. Kuvaaja näyttää karan asennon maksimivirtauksella